

博士学位論文

化学物質簡易測定法の開発と
ベイクアウトによる室内空気質汚染の低減効果に関する研究

2002 年 3 月

熊本大学大学院自然科学研究科

野田 耕右

目次

第1章 化学物質による室内空気質汚染問題	1
1. 本研究の目的	2
2. 室内空気質化学物質による汚染問題の現状	2
3. 室内空気質汚染に関する化学物質	5
4. 室内空気質汚染の測定分析法	8
5. 室内空気質汚染問題に関する既存の研究	8
6. 本論文の構成	12
【参考文献】	13
第2章 室内空気質に関するアンケート調査	15
1. 本章の目的	16
2. 調査概要	16
3. 結果と考察	17
3-1 住宅属性	17
3-2 保有設備	17
3-3 在宅時間	19
3-4 換気	19
3-5 空気感	20
3-6 健康状態	22
3-7 健康世帯と被害世帯	24
3-8 居住者意識	25
4. 本章のまとめ	26
【参考文献】	28
第3章 新築住宅を中心とした室内空気質の実測調査	29
1. 本章の目的	30
2. 測定概要	31
2-1 測定住宅概要	31
2-2 測定方法	31
3. 測定結果及び考察	33
3-1 TVOC と HCHO の測定結果	33
3-2 化学物質分類別測定結果	36
3-3 重回帰モデルによる分析	39
4. 本章のまとめ	42
【参考文献】	43

第4章 化学物質放散量簡易測定法の検討	4 5
1. 本章の目的	4 6
2. 建材からのホルムアルデヒド放散量簡易測定法	4 6
2-1 建材からのホルムアルデヒド放散量簡易測定法の概略	4 6
2-2 空気清浄装置	4 7
2-3 カバー	4 7
2-4 濃度測定装置	4 8
3. 本簡易測定法の実用性の検討	4 8
3-1 測定値の正確さ	4 9
3-2 測定の再現性	5 0
3-3 カバーの大きさが測定値に与える影響	5 1
3-4 給気不足・過剰が測定値に与える影響	5 1
4. 測定例	5 3
4-1 既築アパートの測定	5 3
4-2 木材からの放散測定	5 6
5. 本章のまとめ	5 6
【参考文献】	5 7
第5章 建材レベルでのベイクアウトによる化学物質放散量低減の検討	5 9
1. 本章の目的	6 0
2. 実験概要と試験装置及び分析機器	6 1
2-1 実験概要	6 1
2-2 小型ベイクアウト試験装置	6 2
2-3 放散量測定装置	6 3
2-4 分析法と試験片の作製	6 3
3. 単独建材種のベイクアウト実験	6 4
3-1 ベイクアウト後のホルムアルデヒド放散量経時変化	6 4
3-2 建材材質の相違による TVOC 放散状況の比較	6 7
3-3 建材中ホルムアルデヒド含有量の減衰	6 9
4. 複数建材種の同時ベイクアウト	7 1
5. 換気回数とホルムアルデヒドの自然減衰の関係	7 6
6. 本章のまとめ	7 7
【参考文献】	7 8
第6章 異なる化学物質濃度レベルでのベイクアウトによる低減効果の検討	8 2
1. 本章の目的	8 3
2. 建材履歴と化学物質低減効果に関する実験	8 4
2-1 本節の目的と実験概要	8 4

2-2	化学物質濃度測定装置	8 4
2-3	試験片	8 5
2-4	測定分析方法	8 6
2-5	実験工程	8 7
2-6	VOCs 分類別濃度測定結果	8 7
2-7	ベイクアウト中の HCHO 濃度推移	9 0
2-8	本節の考察とまとめ	9 0
3.	住宅の室内空气中化学物質濃度と化学物質低減効果に関する実験	9 2
3-1	本節の目的	9 2
3-2	実験対象とした住宅の概要	9 2
3-3	加熱方法の検討	9 4
3-4	実験概要	9 5
3-5	実験中の温湿度推移	9 6
3-6	測定分析方法	9 6
3-7	測定結果	9 7
3-8	本節の考察とまとめ	9 8
4.	本章のまとめ	9 9
	【参考文献】	1 0 1
	第 7 章 総括	1 0 2
	本論文に関する発表論文	1 0 5
	謝辞	1 0 8

第 1 章

化学物質による室内空気質汚染問題

1. 本研究の目的

本研究の目的は、室内空気質汚染の実態把握から空気質汚染低減法の検討に至るまで、総合的に研究を行い、室内空気質汚染問題の解決に有意義な研究成果を提供して、室内における居住者や在室者の健康障害の回避と化学的安全の確保に資することである。

2. 室内空気質(Indoor Air Quality=IAQ)の化学物質による汚染問題の現状

化学物質による室内空気質汚染は、居住者や在室者に対して、身体的健康及び精神的健康の両面に悪影響を与えるものとして問題になってきている。

もともと、建築物内の空気汚染による健康障害は、欧米において、1980年代に窓の開閉ができない高層ビルディング内で、省エネルギーの要請と冷暖房の快適性を求めて、換気量を低く抑えた機械換気方式を採用した結果、そこで居住又は仕事に従事する者に健康障害が頻発した事から、シックビルディング症候群=Sick Building Syndrome(SBS)と呼称されている。

これは、産業の発達で、安価に用いることができるようになった化学物質を使用した製品が多く用いられるようになり、室内に揮発性有機化合物(Volatile Organic Compounds=VOCs)が放散され、不十分な換気と気密性の高い建築構造によって、室内空気が汚染されたことに起因する。

そこで、国際的組織や欧米では、室内空気質汚染に関する研究が行われ、ガイドラインや各種のマニュアルが作成されてきており、現在でも汚染状況の変化や技術の革新に伴って、新規策定、改定が行われている。

例えば、国際的組織の対応としては、世界保健機関(World Health Organization = WHO)では2000年に空気質ガイドライン(Guidelines for Air Quality)を発表し、加盟各国の室内空気に関する個別のガイドラインにも影響を与えている。同じくWHOの欧州事務局では、2000年のブリスベン会合で、健康への人権、説明義務、汚染者負担等9項目からなる「健康的な室内空気への権利 = The right to Healthy Indoor Air」を発表している。

国別では、アメリカにおいて、環境保護庁(Environmental Protection Agency = EPA)により2000年に「健康的な室内塗装の実践に関する安全ガイド = Healthy Indoor Painting Practice」が発表され、2001年にはカリフォルニア環境保護庁により「室内空気質と個人暴露評価プログラム = Indoor Air Quality and Personal Exposure Assessment Program」が発表されている。

デンマークでは、1994年以降に出された建材規格や試験方法が、デンマーク室内気候協会により、2000年に「デンマーク室内気候ラベル = Danish Indoor Climate Labeling」としてまとめられている。

ドイツでは、1978年にエコラベル「ブルーエンジェル= Blauer Engel」が導入されており、その後、建材、塗料、殺虫剤等、逐次増補改定されている。

フィンランドでは、1995年に、室内空気質と室内気候フィンランド協会により

室内気候分類の一部として開発された分類分けを、2000年に「建材放散分類=Emission Classification of Building Materials」と名称変更して、建築情報財団により建材等の分類が行われている。

イギリス保健省では、空気汚染による医学的影響に関する委員会により「室内空気汚染に関するガイダンスの開発 = Development of Guidance on Indoor Air Pollutants」を2001年に発表している。

我が国の室内空気質汚染問題に関しては、ビルディングのような面積や容積の大きな建築物は、主に二酸化炭素濃度などの指標により、十分な換気が義務付けられていたこともあって、健康障害は余り報告されなかった。また、住宅の気密性能はそれほど重視されていなかったため、省エネルギー基準以前の木造住宅では、換気回数(住宅内部や室内の空気が、1時間に入れ替わる回数)は2~3回程度であった。このため、多少の化学物質が室内で放散されたとしても、室内の化学物質濃度は非常に低濃度であり、室内空気質汚染に起因する健康障害の可能性も少なかったと考えられる。しかし、近年では、従来の建材よりも化学物質を多く使用した新建材が多用されるようになり、さらに、断熱性能向上のために、気密性能を向上させた住宅が普及してきている。特に、高断熱・高気密住宅では、換気設備を導入しない場合の換気回数は0.1~0.2回程度である。そこで、自然換気設備や機械換気設備により、換気回数を0.5回程度以上確保できるような工夫がなされてきているが、住宅内での健康障害の報告は増加してきている。建材から放散される化学物質によって室内空気が汚染され、欧米のSBS発症と同様な状況が、一般の戸建て住宅やマンション等集合住宅で引き起こされているためと考えられている。

我が国では、公式な名称ではないが、住宅等建築物内における室内空気汚染に起因する健康障害であるため、SBSに見られるような健康障害は、一般にシックハウス症候=群 Sick House Syndrome(SHS)と呼ばれている。最近では、国土交通省や厚生労働省等の行政機関においても、この呼称が用いられている。

表 1.1 シックハウス症候群による様々な症状

身体的症状	精神的症状
目が痛い、視覚異常、皮膚のかさつき アトピー性皮膚炎、手足のしびれ 下半身の異常な冷え、動悸、吐き気 食欲不振、下痢、便秘、味覚異常、 忘れっぽくなる、肩こり、慢性疲労 その他	鬱症状、夜眠れない、考えの混乱 イライラ、怒りっぽい、健忘 その他

* 「VOC対策～発生源対策から法規制まで～」NTS, p. 23の図を元に作成

表 1.1 に示すように、SHS の健康障害の症状は多岐に及ぶ。健康障害の症状は化学物質過敏症=Multiple Chemical Sensitivities(MCS)と類似する点が多く、目や鼻、喉等、粘膜への刺激、頭痛、嘔吐、鼻血、さらには躁鬱等、精神的症状の報告もあり、より広範である。また、アレルギー疾患におけるアレルゲンと抗体反応の

ように、特定の物質に対して特異な症状を呈することも無く、同じ化学物質でも患者毎に、それぞれの場合毎に症状が違ふことが多い。いったん罹患すると、罹患原因がある種特定の化学物質であったとしても、症状の進行に伴って、最初の原因化学物質以外の多種の化学物質にも反応を示すようになり、反応の程度も次第に悪化する場合が多いとされている。

現段階で、医学的な診察法や治療法は、既存の疾患に見られる明確で即効性のある対処法や、具体的な療養法が確立されているわけではない。本格的な専門の診断施設を装備している医療施設も少ない。

現在、SHS 罹患者に対する対処法は、多くの場合、化学物質過敏症罹患者の治療法に類似して、化学物質の少ない場所に移動する原因物質回避であり、罹患者が再び健康体に完全に回復することも困難であると言われており、根本的な治療法は、依然、研究段階にある。そのため SHS、MCS の予防が必要となっている。国民生活の基盤である住居内における化学物質暴露による健康障害は、国民生活の安全を損ねるものとして、民間、行政を挙げて対策が急がれている。

一例をあげると、民間企業の動きとして、建材メーカーでは、ホルムアルデヒド (Formaldehyde : HCHO) の使用を削減した建材の製造、接着剤や塗料の改良等が行われ、住宅メーカーでは、24 時間換気システムの導入や、使用建材を低ホルムアルデヒド製品で統一した住宅等、健康面に配慮した住宅建築へのシフトが行われてきている。

業界団体では、(社)住宅生産団体連合会による、1998 年のホルムアルデヒド (HCHO) 等の現場での測定・評価法を定めた「室内空気汚染の簡易計測に関する研究委員会報告書」、2001 年 10 月着工分から適用されている建築時の施工や使用材料に関する「住宅内の化学物質による室内空気質に関する指針」の策定、壁紙製品規格協議会の SV 規格 (Standard Value)、壁装材料協会の ISM 規格 (Inertia Safety Material)、(社)日本建材産業協会の建材表示制度「空気環境性能表示」等がある。

行政においては、1996 年 7 月に住宅関連業界団体と当時の通商産業省、厚生省、建設省、林野庁の 4 省庁により「健康住宅研究会」が組織され、1998 年 4 月に同研究会の成果である「室内空気汚染の低減のための設計・施工ガイドライン」、「室内空気汚染の低減のためのユーザーズマニュアル」が、(財)建築環境・省エネルギー機構から発表されている。その後、旧建設省と民間の共同研究「健康的な居住環境形成技術」が行われ、2000 年にはその成果である、「健康的な住まい作りのためのユーザーズガイド」「健康的な住まい作りのための設計施工ガイド」が発表されている。

省庁別では、厚生労働省から 1999 年に表 1.2 に示すような、「室内空気質に関するガイドライン」により、測定方法や室内濃度指針値が発表されており、以後毎年項目が追加・改訂されている。国土交通省は、2001 年 8 月、「住宅性能表示制度の室内空気中化学物質濃度に関する改正」において、従来の使用建材の規格表示であった室内空気質に関する項目に、ホルムアルデヒド等の濃度測定項目を追加した。さらに、経済産業省関連では、2001 年の日本工業標準調査会報告「標準化戦略の策定について」において、室内空気質の測定法が重点課題の一つとされる等、健康建材や化学物質測定法の標準化、JIS 化も検討されている。

表 1.2 厚生労働省「室内空気質に関するガイドライン」のガイドライン値

揮発性有機化合物*	毒性指標	室内濃度指針値*
ホルムアルデヒド	ヒト吸入暴露における鼻咽頭粘膜への刺激	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.08ppm)
トルエン	ヒト吸入暴露における神経行動機能及び生殖発生への影響	260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.07ppm)
キシレン	妊娠ラット吸入暴露における出生児の中樞神経系発達への影響	870 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.20ppm)
パラジクロロベンゼン	ビーグル犬経口暴露における肝臓及び腎臓等への影響	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.04ppm)
エチルベンゼン	マウス及びラット吸入暴露における肝臓及び腎臓への影響	3800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.88ppm)
スチレン	ラット吸入暴露における脳や肝臓への影響	220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.05ppm)
クロルピリホス	母ラット経口暴露における新生児の神経発達への影響及び新生児脳への形態学的影響	1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.07ppb) 小児の場合は, 0.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.007ppb)
フタル酸ジ-n-ブチル	母ラット経口暴露における新生児の生殖器の構造異常等への影響	220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.02ppm)
テトラデカン	C ₈ -C ₁₆ 混合物のラット経口暴露における肝臓への影響	330 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.04ppm)
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	ラット経口暴露における精巣への病理組織学的影響	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (7.6ppb)
ダイアジノン	ラット吸入暴露における血漿及び赤血球コリンエステラーゼ活性への影響	0.29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.02ppb)
ノナナール**	C ₈ -C ₁₂ 混合物のラット経口暴露における毒性学的影響	41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.007ppm)
総揮発性有機化合物 (TVOC)**	国内の室内 VOC 実態調査の結果から、合理的に達成可能な限り低い範囲で決定	400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
アセトアルデヒド***	ラットに対する経気道曝露による鼻腔嗅覚上皮への影響	48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.03ppm)
フェノルカルブ***	ラットに対する経口混餌反復投与毒性におけるコリンエステラーゼ (ChE) 活性阻害等への影響	33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.0038ppm)

*ppm は 25℃換算, **暫定値, ***検討中(2002 年 1 月 14 日現在)

厚生労働省シックハウス(室内空気汚染)問題に関する検討会第 6 回～第 7 回のまとめ, を元に作成。

表 1.3 WHO の沸点による VOCs 分類

分類	沸点[°C]	化学物質の例
高揮発性有機化合物 Very Volatile Organic Compounds=VVOC	～ 5 0 °C	ホルムアルデヒド アセトアルデヒド メチルメルカプタン
揮発性有機化合物 Volatile Organic Compounds = VOC	5 0 °C～ 2 6 0 °C	エタノール, トルエン p-ジクロロベンゼン
半揮発性有機化合物 Semi Volatile Organic Compounds = SVOC	2 6 0 °C～ 4 0 0 °C	クロロピリフォス フタル酸ジ-ブチル フタル酸ジ-オクチル
粒子状有機化合物 Particulate Organic Matter = POM	3 8 0 °C～	PCB ベンツ α -ピレン

堀：室内空気中有機化合物の分類と沸点，第1回室内空気計測シンポジウム要旨集，人間－生活環境系，p23 を元に作成。

表 1.4 化学物質の用途の例

用途	化学物質例
有機溶剤	トルエン，キシレン，ヘプタン，アルコール類，メチルエチルケトン，酢酸エチル
殺虫剤，防蟻剤	クロロピリフォス，フェニトロチオン，ダイアジノン
防菌・防カビ	ホルムアルデヒド
防ダニ，防虫剤	ヒノキチオール，フェニトロチオン，フェンチオン，p-ジクロロベンゼン
芳香・消臭剤	リモネン， α -ピネン
接着剤	ホルムアルデヒド，トルエン，キシレン，トリメチルベンゼン，ヘキサン，アルコール類，アセトン，メチルエチルケトン
可塑剤	フタル酸ジブチル，フタル酸ジエチルヘキシル

2001 年厚生労働省シックハウス(室内空気汚染)問題に関する検討会第6回から第7回のまとめ「相談マニュアル作成の手引き」，健康住宅研究会「室内空気汚染低減のための設計施工マニュアル」を元に作成。

3. 室内空気質汚染に関する化学物質

室内空気質汚染に関する化学物質は，主に揮発性有機化合物(Volatile Organic Compounds = VOCs)と呼ばれる化学物質である。室内空気中で検出される化学物質は数百種類に及び，これらの化学物質は，施工材料，建材等に含まれる VOCs は，沸点によって表 1.3 のように分類され，表 1.4 に主な用途を示す。

現在，問題とされている化学物質の多くは，表 1.3 の VOCs に分類されており，表 1.2 に示した化学物質も，ほとんどここに分類される。さらに，各 VOC は，化学物質分類毎に，脂肪族炭化水素類，芳香族炭化水素類，アルコール類，テルペン類，エステル類，ケトン類，アルデヒド類等に分類される。

接着剤や塗料の溶剤に使用される化学物質の多くは，脂肪族類，芳香族類，アルコール類，アルデヒド類，ケトン類に属する。また，室内空気中で一般的に検出頻度が多い木材自身が持つ天然成分は，主にテルペン類に分類される化学物質である。

表 1.5 建材塗料等からの発散メカニズム

	放散メカニズム	用途
揮発性有機化合物	乾燥による揮散	溶剤, 残存原料
	余剰モノマーの表面からの揮散	プラスチック類
	原材料自体の揮散	可塑剤
ホルムアルデヒド	ホルマリンの水分乾燥に伴う揮散	壁紙の糊
	重合固化中, 固化後, 過剰分の徐放	プラスチック, メラミン尿素樹脂
	重合固化後, 空気中の水分と加水分解 反応	接着剤(尿素樹脂)

堀：環境と建材の測定の考え方と実際，第2回室内空気質計測シンポジウム講演要旨集，2000. 7，吉川ら：住まい Q&A 室内汚染とアレルギー，井上書院，を元に作成

表 1.6 TVOC の健康への影響とガイドライン値

濃度 (mg/m ³)	影響	備考
<0.2	刺激, 不快感なし	
0.2~0.3	影響は低い	スカンジナヴィア HVA 協会 : 0.2 (目標値) WHO ガイドライン値 : 0.3
0.3~3	不快感の可能性	北欧建築物規制協会 : 0.4 (一般住宅) 厚生労働省ガイドライン値 : 0.4 オーストラリア : 0.5 スカンジナヴィア HVA 協会 : 0.5 (実行値)
3~5	臭い, 苦情の発生	
5~8	目, 鼻, 喉の炎症	
8~25	頭痛の可能性	
25~	頭痛, 神経毒性	

平成8年度快適な暮らしのスタイル開発促進事業 建材・機械等の揮発性有機化学物質に関する調査研究，(財)ビル管理教育センター，の Molhave による「TVOC 濃度とヒトへの影響」を元に作成。

それぞれの化学物質は，物理的性状，毒性や工業的用途が異なり，ガイドラインを設ける場合も別個に設定されている。

表 1.5 に，VOCs と HCHO の発散メカニズムを示す。HCHO は沸点が -21°C で，VVOC に分類されるが，一般的には別個に論じられることが多い。工業的にはフェノール樹脂，ユリア樹脂，防腐剤，接着剤の原料等，多くの製品に用いられる。急性毒性も強く，発ガン性の疑いももたれている。

VOCs が固化や劣化に伴う放散が多いのに対して，HCHO では固化後にも，加水分解などで再び空気中に放散される等，一般的な VOCs の放散とは異なる。この特性が，HCHO に徐放性と長期放散の可能性を与えている。

総揮発性有機化合物(Total Volatile Organic Compounds = TVOC)は，個別の化学物質ではなく，室内空気中の各 VOC の合計である。TVOC を構成する個別の VOC は，測定される物件により異なる。TVOC 濃度が人体に与える影響については，Molhav によって表 1.6 のように示されている。しかし，正確には，TVOC 濃

表 1.7 測定・分析法

簡易法	測定・分析法
VOCs	検知管法
TVOC	水素炎イオン化法, 熱線半導体法, 光音響法, 光イオン化法
HCHO	検知管法, 化学発光法, 光電光度法, 簡易 AHMT 法*
精密法	測定・分析法
VOCs	固相吸着/溶媒抽出-GC/FID, GC/MS 法 固相吸着/加熱脱着-GC/FID, GC/MS 法 キャニスター捕集-GC/FID, GC/MS 法
TVOC	精密法の VOCs に準じる
HCHO	固相吸着/溶媒抽出-HPLC 法

度の健康への影響は、構成する各 VOC の毒性と量に左右される。そのため、TVOC 濃度は、全体的な汚染程度を示すための指標として機能するが、必ずしも濃度レベルが健康上の安全を示すとは限らない。そのため、TVOC のガイドライン値を検討している国は多いが、2001 年 12 月の段階で、実際に設けている国は少ない。

4. 室内空気質汚染の測定・分析法

表 1.7 に、室内空気質汚染物質の測定・分析法を示す。測定・分析法は、大きく簡易法と精密法に分けられる。

簡易法は測定現場において、直ちに分析結果を出すことが可能である。専門家でなくとも、比較的簡単に測定できる操作の簡易性と、持ち運びの容易さ、経済性に優れているが、測定値の正確さにおいてはやや劣る。

精密法は、現場で空気の捕集を行い、研究室などで、ガスクロマトグラフィー (GC)、ガスクロマトグラフィー/質量分析計 (GC/MS)、高速液体クロマトグラフィー (HPLC) を使用して分析を行う。VOCs の成分の定性、定量分析が可能で正確な値を知ることが出来る。一方、操作は専門知識を要し、機器も高価で、一部を除いて可搬性はほとんど無い。

測定方法では、標準化した方法の提案もなされてきている。住宅生産団体連合会では、1998 年の「室内空気汚染の簡易計測に関する研究委員会報告書」において、HCHO の簡易測定法を提案している。厚生労働省では、2001 年の「シックハウス(室内空気汚染)問題に関する検討会第 6 回から第 7 回のまとめ」において、精密測定を主とした測定マニュアルを提案している。

5. 室内空気質問題に関連する既存の研究

図 1.1 に、1997 年から 2001 年までの日本建築学会、空気調和・衛生工学会の大会、学術講演会において発表された研究論文を、予測法(シミュレーション等)、低減法(ベイクアウト、機械換気、その他)、放散量測定法等(建材等からの化学物質放

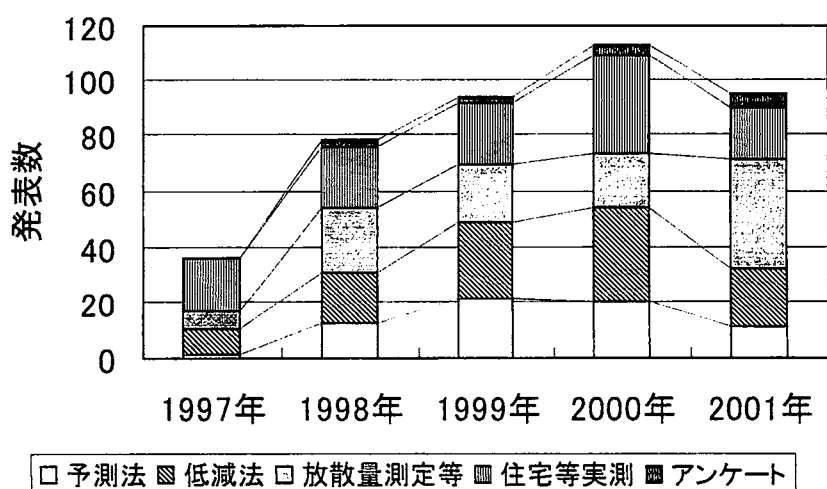


図 1.1 日本建築学会，空気調和・衛生工学会の大会，講演会の口頭発表数

散量測定方法，その他の測定方法や測定機器の研究)，住宅等の実測，アンケート調査に分類して示す。日本建築学会と空気調和・衛生工学会で重複内容の発表もあるが，重複数は考慮していない。

発表数は，1998 年から急激に伸びている。研究内容は，1997 年において実測が約半数を占めているが，1998 年には放散量測定等，低減法，予測法に関する研究発表が増加している。以後 2000 年まで，発表内容の校正は大きく変動していない。2001 年には放散量測定法が増加しているが，同一研究の連報が影響している。

研究発表数の推移を見ると，室内空気質汚染に対する関心が 1997 年を境に急激に増加しているといえる。本章 1 項の，行政的な対応の推移によく合致する

以上のように，化学物質による室内空気室汚染は，近年，急速に研究されてきている。その研究内容は，学際的であり広範囲に及ぶが，理工学的な研究は以下の 3 つに分類して整理できる。

I. 具体的事例に関する研究

住宅実測やアンケート調査等

II. 測定法に関する研究

IAQ 測定のための空気質及び建材などの化学物質放散量測定手法の研究等

III. 室内空気質汚染低減に関する研究

ベイクアウトや換気システムによる，既に汚染されている室内空気質の改善，汚染軽減に関する研究等

I. 具体的事例に関する研究

室内空気質汚染問題の現状を把握して対応策を検討するためにも，居住者等に対するアンケート調査や，実際の住宅における室内空気質汚染の測定による具体例の蓄積は重要である。

室内空気質汚染の現状把握のためのアンケート調査では，建築物に由来する室内

空気質汚染以外にも、居住者の生活に関連する行動様式に起因する汚染の分析も可能である。室内空気質汚染による健康障害では、居住者の生活環境に起因する化学物質が原因である場合も考えられるため、内容が良く練られたアンケート調査である必要があるが、原因や因果関係を検討する際にも有益であると考えられる。

例えば、住宅内での滞在時間が長く非喫煙者の中高年齢の女性は発症例が多い、という報告がなされた田辺らのアンケート報告(2000年)¹⁾や、比較的新しい住宅の居住者を対象としたアンケートで、アレルギー症状を発症した居住者の内 15.6%は入居後発症している、という報告をした松本らのアンケート調査²⁾等がある。

生活様式は、地域によって違いがあると考えられるが(例えば、冷暖房の使用や窓開放の頻度等は気候的条件で大きく違うと考えられる)、関西以北におけるアンケート調査が多く、比較的温暖である九州における調査は少ない。

早い時期の室内空気質実測調査の研究例では、堀らによる住宅内の VOCs や HCHO を測定と測定機器の評価を行った報告(1996年)³⁾や、池田らの集合住宅を対象にした実測例の報告(1997年)⁴⁾が挙げられる。

近年では、戸建て住宅に関する報告も増加してきた。例えば、熊谷らの報告⁵⁾によれば、入居前と比較して、入居後では HCHO 濃度と TVOC 濃度が大きく減少することや、TVOC の築年数に対する相関の高さなどが明らかにされている。また、桑沢ら⁶⁾は建築後 TVOC 濃度 1 ヶ月以上の住宅を対象に、TVOC 濃度と気温の相関の高さを指摘している。尾山ら⁷⁾は、環境共生住宅を対象とした実測において、夏季秋季とも杉材を発生源と考えられるセスキテルペン類の検出を報告している。田辺ら⁸⁾は、室内空気汚染対策を行った実験住宅の化学物質濃度を測定して、化学物質の放散が少なかったことを報告している。

実験住宅を除いて、戸建て住宅の実測では、多くの報告ではすでに入居者がいる場合も含まれている。入居済み住宅の実測では、住宅自体の建材などに起因する化学物質のほかに、家具や芳香剤等、居住者によって持ち込まれる生活環境からの化学物質も含んだ化学物質濃度である。この場合、居住者の生活環境で容易に室内空気汚染の状態は変化すると考えられるため、生活環境下での汚染状況の把握には有益であるが、住宅自体に起因する室内空気汚染の把握は困難である。住宅自体による空気質の汚染を把握するには、同じ仕様の未入居住宅を対象とした測定と検討が必要であろう。しかし、未入居状態での同じ仕様の住宅での実測報告は少ない。また、住宅の実測例では関西以北の住宅の場合が多く、比較的気温が高い九州沖縄地区での実測例は、他の地域と比較して少ない。表 1.8 に示す発表論文数の具体的数字では、1997 年から 2001 年の実測に関する論文数の合計は 119 本である。この内、九州・沖縄で実測した住宅等の研究論文数は 7 本である。全体的に発表数が増えてきた 1998 年以降では 4 本である。北日本や関東より温暖な地域である九州においても、断熱・気密住宅が普及しつつあり、室内空気質汚染は、住宅構造の他、気温や湿度とも関係しているため、九州における実測例の蓄積は、温暖な地域の室内空気質汚染の解決に不可欠であって、さらに多くの測定例が必要と考えられる。

Ⅱ．測定法に関する研究

現状認識、各種建材の評価、汚染源の特定、汚染低減化対策の評価等には、化学物質の測定が不可欠である。化学物質の種類、放散量、濃度等の把握がなされなければ、客観的な汚染の有無、化学物質放散の有無、空気質的な意味合いでの建材の良否等の判断は困難である。そのため、室内空気質汚染問題解決には、測定方法の研究開発は重要である。

従来、我が国では、建材からの化学物質放散量を測定する方法として、HCHO についてのみ JIS, JAS 規格に規定がある。空気質に関しては大気汚染や労働衛生法上の勧告値が設定されており、測定法の規定も設けられている。しかし、例えば HCHO では労働衛生法上の勧告値の 2ppm に対して、一般住宅で問題となっている濃度レベルは 0.1ppm 以下であること等、その適用には限界がある。室内空気質で問題とされる濃度レベルの測定法の開発が必要とされている。

近年、そのような要請から、室内空気質の測定方法の研究が進められてきている。堀らは主に HCHO や TVOC の室内濃度、建材からの発生量の簡易測定などについて研究⁹⁾¹⁰⁾を行い、田辺らは FLEC の検討、ADPAC, ADSEC の開発等、建材からの VOCs 放散量測定法の研究¹¹⁾¹²⁾を行っている。行政的には、室内空気質測定法マニュアルが厚生労働省から発表された。

これらの測定方法は、室内濃度の簡易測定を除いて、高度な技術と特殊な機器を必要としており、高精度分析を目的としている。

簡易測定は扱いが容易であり、熟練した技術者でなくとも比較的安定した測定を行うことが可能であり、数十分で測定結果を出すこともできる。しかし、前述のごとく測定値の精度は精密法に劣る。

精密法は、HPLC や GC/MS 等を使用した分離分析が主であり、化学物質の分離分析から定量分析を行い、化学物質の正確な情報を得ることが出来る。その反面、ほとんどの場合、サンプリングと分析は時間的、物理的に測定現場と離れることが多く、迅速な対応には限界がある。

建築物に使用されている建材からの放散量の測定は、すでに居住者がいる場合も想定され、場合によっては迅速な対処を要することもある。測定値の確からしさと現場に即応した実用性の兼ね合いは、状況に応じて、どちらにより比重を置くか選択すべきであろう。また、現場での放散部位の特定や、部位からの化学物質放散量測定法は、商業的には FLEC 等を使用する方法があるが、機器が高価で、操作も多少の技術を要する。さらに簡単で安価な測定法が必要であろう。

Ⅲ．室内空気質汚染低減に関する研究

室内空気質汚染低減措置は居住者のみならず、住宅の供給側においても SBS や SHS 発症の回避、すでに発症している場合であれば、当該住宅での居住継続を可能にするために必要とされている。汚染低減措置は、空気清浄機や換気により、空气中に放散された化学物質を排除するものと、建材等、発生源自体の化学物質含有量の減少を促進させることで、放散を低減させるベイクアウトがある。

換気による低減は、省エネルギーの観点からでは、住宅等建築物の断熱性を考慮

する必要がある。また、光触媒技術によるものでは、分解能力と当該室内の化学物質放散量の関係や、劣化による性能低下を考慮する必要がある。ベイクアウトでは、建材の反り、塗料の剥奪、家具の変色等に注意が必要である。

室内空気中に放散された化学物質の低減では、例えば、空気中の化学物質を吸着材を用いた空気清浄機によって汚染を低減する方法には、布施らの報告¹³⁾や守屋ら¹⁴⁾の報告などがある。また、岡田ら¹⁵⁾や長谷川ら¹⁶⁾は換気による低減効果を報告している。光触媒を利用した対策では、吉川ら¹⁷⁾や小野ら¹⁸⁾などが研究結果を報告している。光触媒を使用した空気清浄装置は、現在、多数商品化され、一般家庭でも導入されている。

建材などの化学物質含有量を低減できるベイクアウトは、欧米では従来から新築後や室内改装後に実施されてきており、近年では我が国でも研究がなされている。

例えば、野崎らのベイクアウト評価法や集合住宅でのベイクアウト効果の検討¹⁹⁾、人工気象室内のベイクアウト実験で部材レベルでの部位別効果を検討した報告²⁰⁾、小竿らの化学物質濃度と真菌濃度への制御効果に関する報告²¹⁾²²⁾²³⁾等、評価法や効果についての定量的な検討や、藤村らによる数値予測によるベイクアウト効果の評価²⁴⁾がなされている。

このように、室内空気質汚染対策は複数の手法が研究されてきているが、いまだ決定的な対処法は無い。それぞれの手法が最も効果的に働くためには、用いる手法に適した条件を明らかにすることが必要であろう。それぞれの低減法が単独に用いられるのではなく、各低減法に適した条件が明らかになり、長所を生かして、複合的、有機的に用いられることによって、室内空気質汚染はより有効に清浄化されるであろう。

6. 本論文の構成

本論文は、室内空気環境と健康影響の実態把握から、室内空気質汚染の低減法に至る、次の各章から構成される。

- 第2章 熊本市内の幼児を持つ世帯にアンケートを行い、生活状況、室内空気質環境と健康状態について分析する。この結果から、室内空気質汚染による健康障害に至る要因を把握する。
- 第3章 生活に起因する化学物質に影響されていない住宅自身に起因する室内の化学物質濃度と、時間の経過や室温等との関連を把握するため、新築3ヶ月以内の未入居住宅で、室内空気質の測定を行う。得られたデータを、統計学的手法によって分析することで、室内空気質汚染の要因を明らかにする。
- 第4章 室内空気質汚染の対策では、汚染源を知るためには、室内の壁、床などの各部位から放散される化学物質の測定が必要とされる。測定の専門技術拾得者でなくとも、容易に実施できる各部位の測定法の開発を行い、実験と実測結果を踏まえて、実用性を検討する。
- 第5章 第5章と第6章では、室内空気質汚染低減対策として、ベイクアウトにつ

第 6 章 いて検討を行う。第 5 章では、建材レベルでベイクアウト実験を行い、ベイクアウトによる化学物質放散量低減効果を検討する。第 6 章では、履歴が違う建材に対するベイクアウト実験と、実際の住宅にベイクアウトを行い、室内空気質汚染低減対策としてのベイクアウトの有効性を検討する。

第 7 章 本研究の総括を行う。

【参考文献】

- 1) 田辺新一，渡辺弘司，岸田宗治：シックハウスに関するアンケート調査，平成 11 年度厚生科学研究補助金(生活安全総合研究事業)住宅における生活環境の衛生問題の実態調査報告書，pp.29~52，2000.3
- 2) 牟田芳，松本博：東三河地域における住まい方と健康に関する調査研究，日本建築学会大会学術講演梗概集 D2，pp809~810，2000.9
- 3) 堀雅宏，楊建萍：住宅の揮発性有機化合物汚染と測定評価法に関する考察，人間—生活環境系会議雑誌 人間と生活環境 vol.04 No.1，pp.61~69，1999.12
- 4) 池田耕一，松村年郎，木村洋，堀雅宏：新築及び既築集合住宅の室内空気質測定，日本建築学会大会学術講演梗概集 D2，pp753~754，1997.9
- 5) 熊谷一清，池田耕一，池垣和明，堀雅宏，松村年郎：実験住宅における内装材の室内化学物質濃度に及ぼす影響に関する研究(その 2-3 仕様の比較実験)，日本建築学会大会学術講演梗概集 D2，pp873~874，1998.9
- 6) 桑沢保夫，坊垣和明：完成直後の集合住宅における室内空気質の調査，日本建築学会学術講演梗概集 D2，pp.917~918，2001.9
- 7) 尾山秀平，岩下剛：環境共生住宅の室内温熱空気環境に関する実測調査，日本建築学会学術講演梗概集 D2，pp.913~914，2001.9
- 8) 田辺新一：化学物質汚染低減化対策を行った実験住宅のアルデヒド類，VOC の実測，日本建築学会学術講演梗概集 D2，pp.739~740，1999.9
- 9) 堀雅宏：室内空気質の測定評価の考え方と実施方法，「第 1 回室内空気質計測シンポジウム資料」人間-生活環境系会議，pp.18~24，1998.6
- 10) 堀雅宏：室内環境中ホルムアルデヒドの長時間平均濃度の現場測定方法と開発，日本建築学会(1999 年度中国)学術講演梗概集，pp.815~816，1999.9
- 11) 田辺新一，吉田仁美，由岐中聡美，舟木里香，小西章予：FLEC を用いた建材からのアルデヒド類発生量の測定，空気調和衛生工学会論文集，pp.597~600，1998.8
- 12) 田辺新一，由岐中聡美，舟木里香，小西章予，島田菜穂美，細谷奈保子：新築集合住宅の IAQ 実測と使用権座員からの科学物質放散速度の測定，空気調和衛生工学会論文集，pp.57~60，1999.9
- 13) 布施幸則，梶間智明，鈴木道哉，岡田博，山ロー：集合住宅における室内空気質改善に関する検討その 2 吸着剤によるホルムアルデヒド除去，日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2，pp.813~814，1998.8
- 14) 守屋好文：固体吸着剤によるホルムアルデヒドおよび VOCs の除去について，日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2，pp.775~776，1999.9
- 15) 岡田直喜，佐野郁夫，小森亮子，青井秀樹，百瀬千里：躯体内換気を利用した室内空気質の改善手法の研究，日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2，

pp.803~804, 1999.9

- 16) 長谷川麻子, 小座野貴弘, 小峯裕己: 換気システムによる化学物質汚染対策—実大実験による検討, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.509~512, 1999.9
- 17) 吉川文恵, 並木則和, 大谷吉生, 江見準: 酸化チタン光触媒反応によるガス状汚染物質の除去, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp.831~832, 1998.9
- 18) 小野政一郎, 岩田利枝, 木村健一: 光触媒膜蛍光灯による室内有機ハロゲン化合物の分解および副生成物質に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp.779~780, 1999.9
- 19) 野崎淳夫, 飯倉一雄, 吉澤晋, 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の効果(その 1), 日本建築学会計画系論文集, No.530, pp.61~66, 2000.4
- 20) 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, 室内環境学会誌平成 12 年度室内環境学会総会講演集, pp.50~51, 2000.12
- 21) 小竿真一郎, 入江建久: 新築病対策の一提案(ベイクアウト手法によるホルムアルデヒドの除去), 日本マンション学会第 5 回大会研究報告集, pp.28~29, 1996.4
- 22) Ozao, Irie, Hori, Kyo: Experimental Study Concerning the Reduction of Indoor Formaldehyde Concentrations by Bake Out process, Proc. of the 7th International Conference on INDOOR AIR QUALITY AND CLIMATE, Vol.13, pp.625~631, 1996.Jul.
- 23) 小竿真一郎, 入江建久, 堀雅宏他: 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(その 2), 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, 1997.4
- 24) 藤村淳一, 近藤靖史, 村上周三, 加藤信介, 伊藤一秀, 山本明: 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 3) ミクロ・マクロモデルによる建材内濃度分布予測およびベイクアウトの評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp.695~696, 1999.9
- 25) S. Kimbarly, et al: REDUCTION OCCUPANT EXPOSURE TO VORATILE ORGANIC COMPOUNDS (VOCs) FROM OFFICE BUILDING CONSTRUCTION MATELIALS: NON-BAINDING GIDELINES, California Department of Health Service, 1996.7
- 26) 池田耕一: 室内空気質汚染の原因と対策, 日刊工業新聞社, 1998.11

第2章

室内空気質に関するアンケート調査

1. 本章の目的

室内空気質汚染は、居住者の生活環境と密接に関係する。建材や施工に起因する化学物質の他に、居住者が生活上持ち込んだ家財道具に起因するものや、住宅の周辺環境に起因する外気の汚染による影響が考えられる。また、生活態度によっても、室内空気質の汚染程度や健康被害の程度に差が出ると考えられる。アンケート調査では室内空気中の化学物質濃度を知ることが出来ないが、居住者の日常生活や住宅環境と室内空気質汚染との関連を把握する手段として有効な方法であると考えられる。

本章では、熊本市において、生活環境下における住宅内の空気環境と居住者の健康状態の把握を目的として、アンケート調査を行っている。その調査結果を報告する。

2. 調査概要

本調査は、1999年8月に市内5ヶ所（東・西・南・北・中央）の熊本市保健福祉センターの協力を得て実施した。

それぞれの保健福祉センターの1歳6ヶ月児・3歳児健診において、来所した親子に調査員がアンケート用紙、返信用封筒を直接配布した。回収は郵送で行っている。

表2.1に調査項目、表2.2にアンケート用紙の回収状況を示す。

表 2.1 調査項目

分類	項目
I. 居住者属性	①続柄/年齢/性別/職業 ②在宅時間 ③健康状態（在宅・外出時）
II. 住宅属性	① 建て方/所有形態/構造/築年数/居住年数/延べ床面積 ②防蟻処理 ③増築・改築・リフォームの有無
III. 住まい方	①冷暖房設備 ②換気の状態 ③意識
IV. 空気感	①周辺地域 ②気温/湿度/気流/ のどの渇き感/臭気（在宅時）

表 2.2 回収状況

配布場所	配布数	回収数	回収率[%]
東保健福祉センター	233	45	19.3
西 "	77	15	19.5
南 "	161	32	19.9
北 "	142	22	15.5
中央 "	175	34	19.4
合計	788	148	18.4

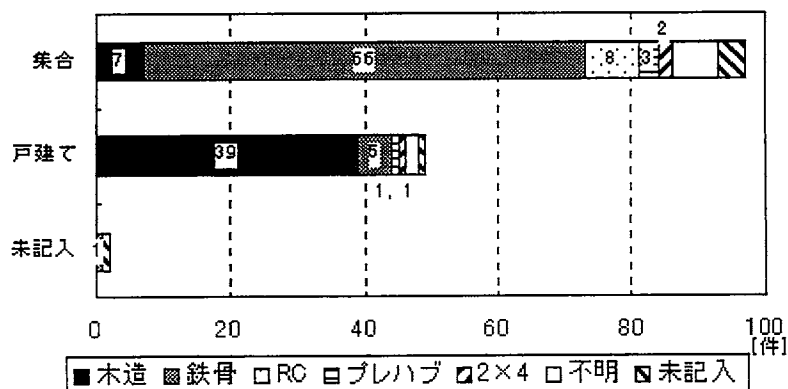


図 2.1 住宅種別と構造

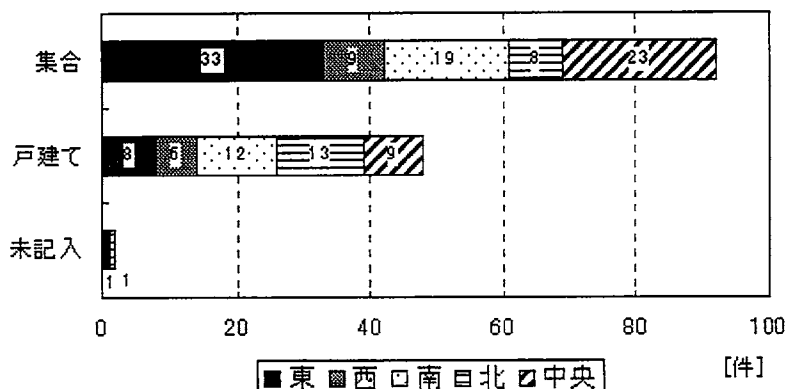


図 2.2 地域別の住宅種別

3. 結果と考察

3-1 住宅属性

図 2.1 に住宅種別と構造，図 2.2 に地域別の住宅種別を示す。

図 2.1 では、回答を得た家庭の 97 件（約 66%）が集合住宅に居住し、そのうち 66 件（約 69%）が鉄骨造である。また、49 件（約 33%）が戸建て住宅に居住し、そのうち 39 件（約 80%）が木造である。

図 2.2 より、市街地である中央及び近年人口が増加している東地区では、集合住宅に居住する家庭からの返送が多くなっている。一方、熊本市郊外にある北及び南地区では、戸建て住宅に居住する家庭からの返送が多くなっている。

3-2 保有設備

図 2.3 に暖房設備の使用数，図 2.4 に住宅種別に対する設備の使用率を示す。

図 2.3 より、エアコン・燃焼式ストーブ・電気カーペットはそれぞれ 85 件前後の家庭で使用されている。そのうち、エアコンと燃焼式ストーブを併用している家庭は 37 件、エアコン・燃焼式ストーブ・電気カーペットを併用している家庭は 22 件である。

図 2.4 より、エアコンの使用率は住宅種別によらず同程度である。一方、燃焼式ストーブは戸建て住宅で 33%、集合住宅は 25%である。

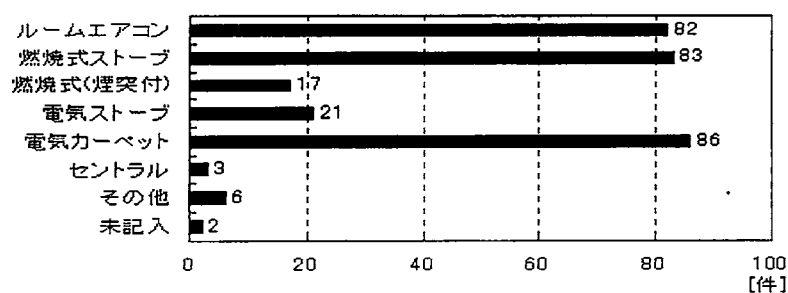


図 2.3 暖房設備

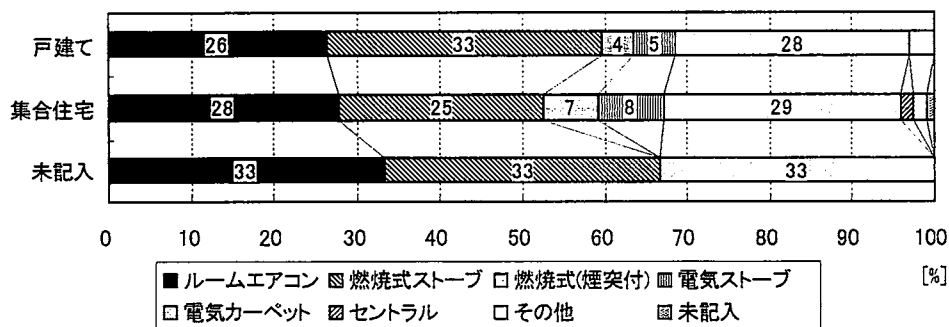


図 2.4 住宅種別と暖房設備

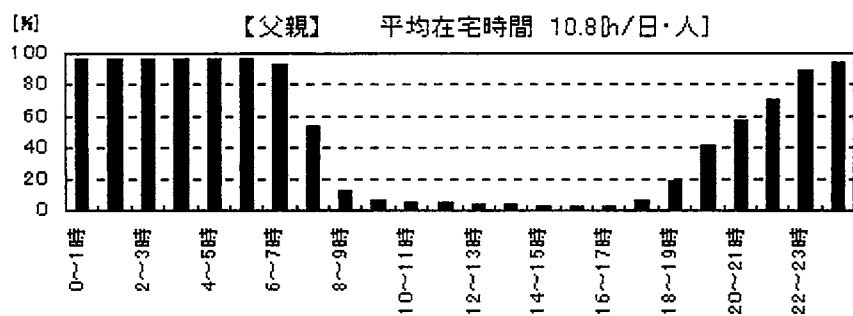


図 2.5.1 在宅率 (父親)

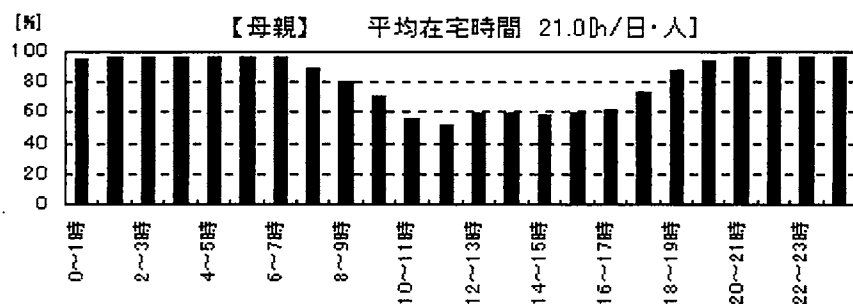


図 2.5.2 在宅率 (母親)

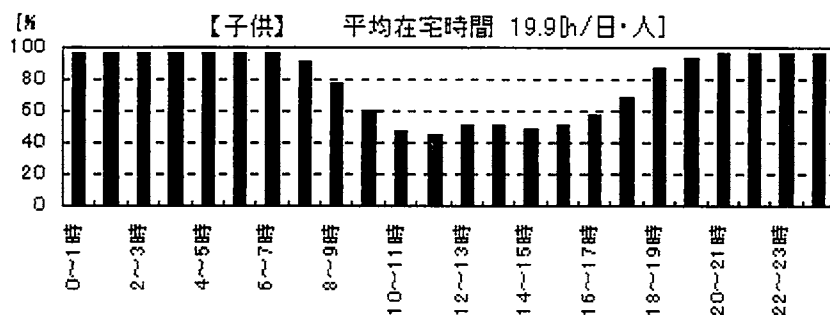
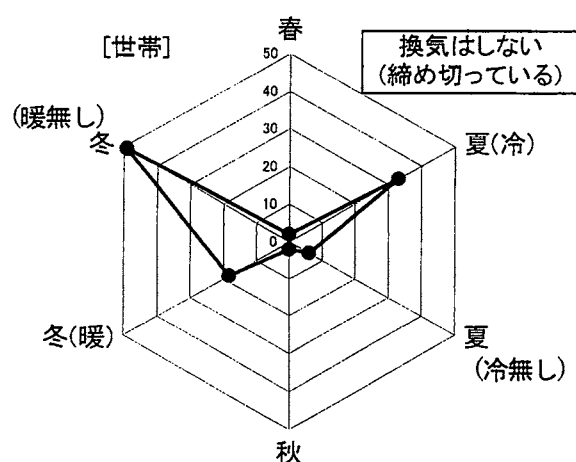
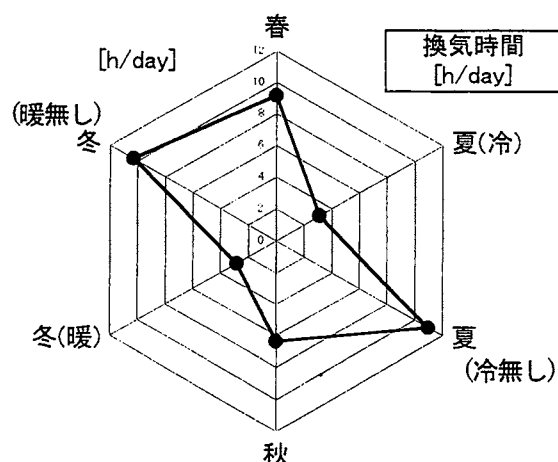


図 2.5.3 在宅率 (子供)



(冷) : 冷房中, (冷無し) : 冷房無し
(暖) : 暖房中, (暖無し) : 暖房無し

図 2.6 換気をしない世帯数



(冷) : 冷房中, (冷無し) : 冷房無し
(暖) : 暖房中, (暖無し) : 暖房無し

図 2.7 平均換気時間

3-3 在宅時間

図 2.5.1~3 に父親, 母親, 子供 (1.5 歳及び 3 歳児に限る) の 1 時間毎の在宅率を示す。

1.5 歳及び 3 歳児を持つ家庭の平均在宅時間は, 父親が約 11 時間, 母親が約 21 時間, 子供 (1.5 歳及び 3 歳児に限る) が約 20 時間であり, アンケートに回答した世帯では, 母親と子供は 1 日のほとんどを自宅で過ごしている。子供が幼少で, 幼稚園などへの通園も始まっていないためと考えられる。

3-4 換気

図 2.6 に, 季節ごとの換気をしない世帯数, 図 2.7 に「換気を行う」と回答した世帯の季節ごとの 1 日平均換気時間を示す。なお, 図中の夏 (冷) は夏季に冷房を稼動している部屋, 冬 (暖) は冬季に暖房を稼動している部屋を示している。

図 2.6 より, 春, 秋, 夏に冷房を稼動しない状態で換気をしない世帯は 10 世帯以下である。一方, 夏季の冷房中に換気をしない世帯は 33 世帯, 冬季の暖房中は 18 世帯, 冬季の暖房の稼動をしない状態では 49 世帯である。冬季は, 春, 秋, 夏の冷房稼動時と比較して開口部を締め切る世帯が多くなっている。

図 2.7 より, 夏季及び冬季に冷暖房を稼動時の平均換気時間が最も少なく, 約 3h/day である。図 2.6 及び図 2.7 から検討すると, 夏季及び冬季に冷暖房稼動時は「換気をしない」世帯が多く, また, 換気時間も 1 日約 3 時間と短いため, 換気量不足による室内空気質汚染が懸念される。冷暖房効果を維持しつつ, 室内空気質汚染を最低限に抑えるための方策が必要であろう。

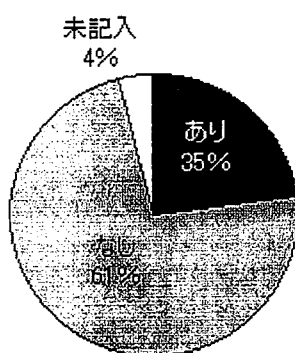


図 2.8 周辺地域で「気になる臭い」の有無

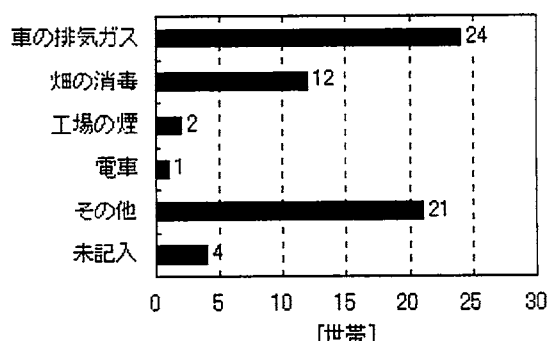


図 2.9 周辺地域で「気になる臭い」

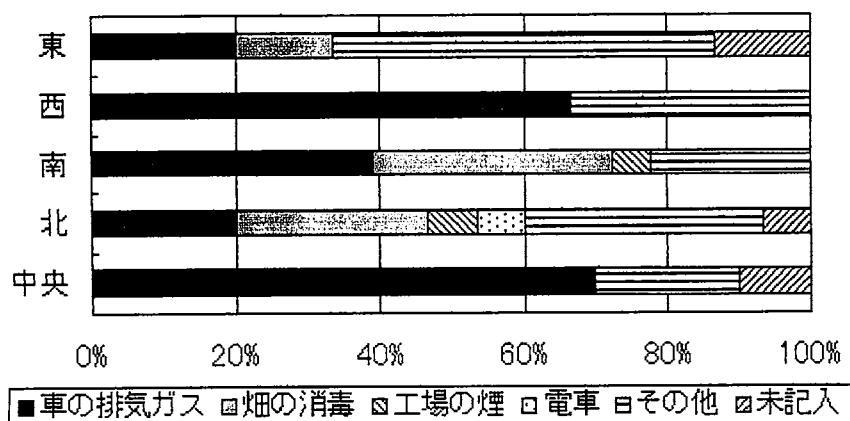


図 2.10 周辺地域で「気になる臭い」占有率（地域別）

3-5 空気感

(1) 周辺地域における臭い

図 2.8 に周辺地域で「気になる臭い」の有無，図 2.9 に周辺地域で「気になる臭い」の具体的な種類，図 2.10 に地域別の「気なる臭い」の割合を示す。

図 2.8 及び図 2.9 より，約 35% の家庭が周辺の空気に不快感を示している。特に車の排気ガス（24 件）や畑の消毒（12 件）に対する訴えが多い。また，「その他」に 21 件の回答が得られたが，家庭焼却臭・飲食店・川という回答が複数みられる。

図 2.10 より，熊本市街地に位置する中央・西の居住者は，約 65% が車の排気ガス，郊外に位置する北・南の居住者は，30% 前後の家庭が畑の消毒に対して不快感を持っている。

換気により室内空気の清浄化を図る場合において，一般に室内空気質の清浄化下限は，外気の濃度レベルに拘束され则认为られる。住居周辺の外気が不快感を与えている場合は，換気による室内空気質の改善が余り望めないため，清浄な外気が望める地域の住宅よりも，さらに室内の化学物質量を低く抑えるための対策が必要であろう。

表 2.3 夏季・冬季における「気になる臭い」

順位	夏	順位	冬
1	生ごみ(61)	1	暖房器具(42)
2	冷房器具(26)	2	タバコ(24)
2	トイレ(26)	3	トイレ(20)
3	タバコ(23)	4	カビ(18)
4	調理(22)	4	調理(18)
4	下水(22)	5	生ごみ(15)
5	カビ(21)	6	建材(12)
6	建材(15)	6	下水(12)
7	体臭(7)	7	芳香剤(4)
7	芳香剤(7)	8	家具(3)
8	家具(4)	9	体臭(1)
9	ペット(1)	9	ペット(1)
9	防虫・殺虫剤(1)	9	防虫・殺虫剤(1)
10	白蟻駆除剤(0)	10	白蟻駆除剤(0)
	その他(14)		その他(5)
	わからない(10)		わからない(12)
	未記入(10)		未記入(17)

※(): 回答数[世帯]

表 2.4 勤務先や学校における「気になる臭い」

順位	勤務先	順位	学校
1	タバコ(42)	1	トイレ(14)
2	トイレ(20)	2	建材(3)
3	冷暖房器具(13)	3	カビ(2)
4	体臭(8)	4	調理(1)
5	下水(7)	4	生ごみ(1)
6	建材(5)	4	下水(1)
7	生ごみ(4)	4	ペット(1)
7	芳香剤(4)		タバコ(0)
8	カビ(2)		家具(0)
8	防虫・殺虫剤(2)		体臭(0)
9	家具(1)		芳香剤(0)
9	ペット(1)		防虫・殺虫剤(0)
9	白蟻駆除剤(1)		白蟻駆除剤(0)
10	調理(0)		冷暖房器具(0)
	その他(8)		その他(1)
	わからない(33)		わからない(30)

※(): 回答数[世帯]

(2) 在宅中の臭い

表 2.3 に、在宅中の「気になる臭い」を示す。

夏・冬ともに冷暖房設備が上位を占めている。夏季にエアコンを使用している全ての家庭で、冷房器具の臭いを訴えている。一方、冬季に暖房器具の臭いを訴えている 42 件中エアコンのみ使用が 9 件、石油ストーブを使用が 28 件である。また、建材は夏季冬季とも 6 位である。図 2.6 及び図 2.7 において、冷暖房時の換気不足を指摘したが、冷暖房器具の稼動も室内空気質汚染の原因となりうる。

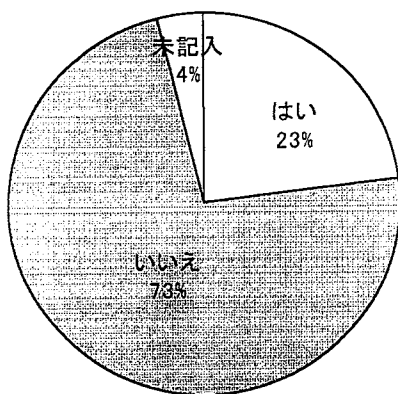


図 2.11 健康被害の有無（在宅中）

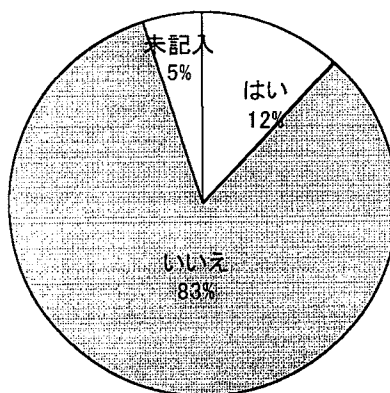


図 2.12 健康被害の有無（外出中）

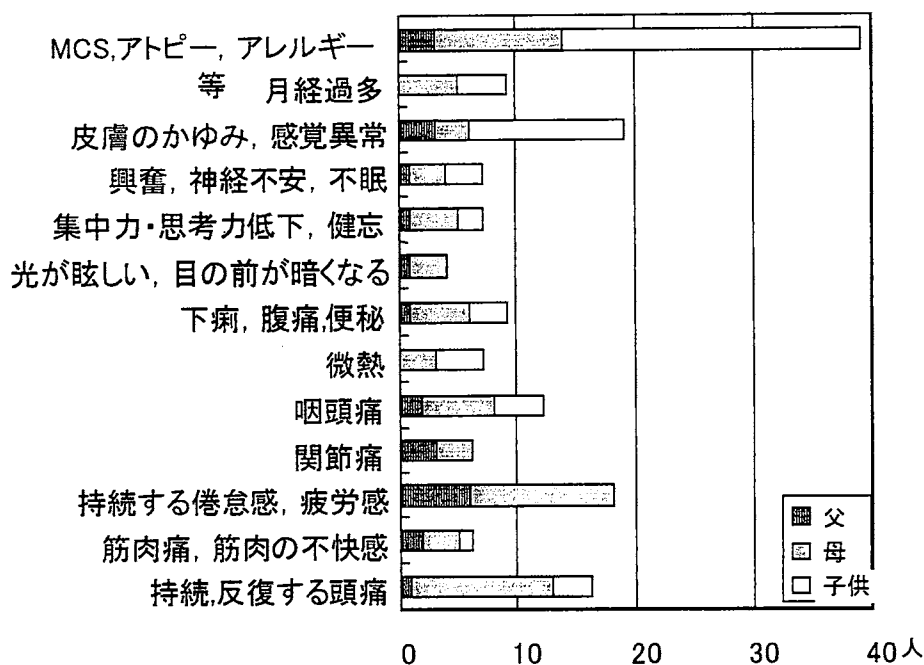


図 2.13 症状別の健康被害者数（延べ）

(3) 勤務先や学校における「気になる臭い」

表 2.4 に勤務先・学校の「気になる臭い」を示す。

勤務先では、タバコの臭いに対する訴えが最も多い。学校では、トイレの臭いに対する訴えが最も多く、勤務先でも 2 位にトイレの臭いが挙げられている。勤務先や公共の場所での分煙の必要性や、学校での衛生環境の再点検の必要性が考えられる。

3-6 健康状態

(1) 在宅中の健康状態

図 2.11 に在宅中の健康被害の有無を示し、図 2.13 に症状別の健康被害者数を示した。アンケート結果は述べ数である。

「在宅中の健康被害」に対し、約 23%の世帯が健康被害を訴えている。この割合は、田辺らの調査結果¹⁾と比較すると約 8 倍高い。これはアンケート回収率、アンケートの地域性、アンケート時期等の相違が大きく影響していると考えられる。

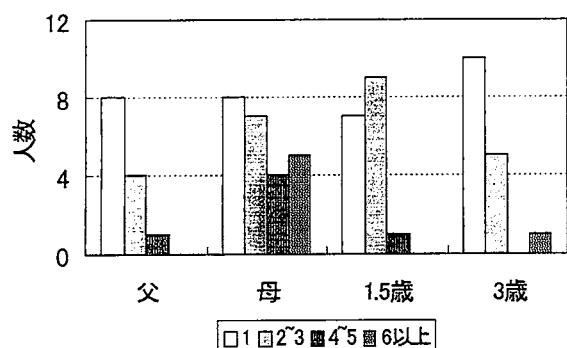


図 2.14 1 人が訴える症状の数

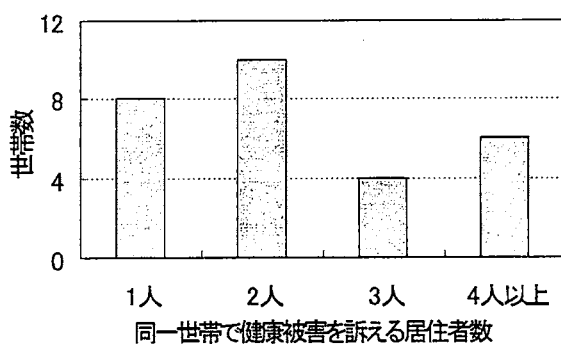


図 2.15 健康被害を訴えた世帯で同時に健康被害を訴える家族構成員の数

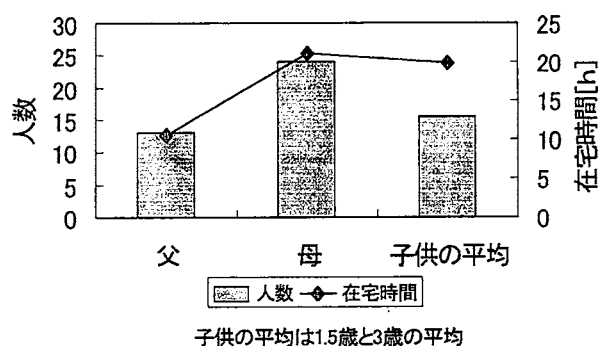


図 2.16 健康被害と在宅時間

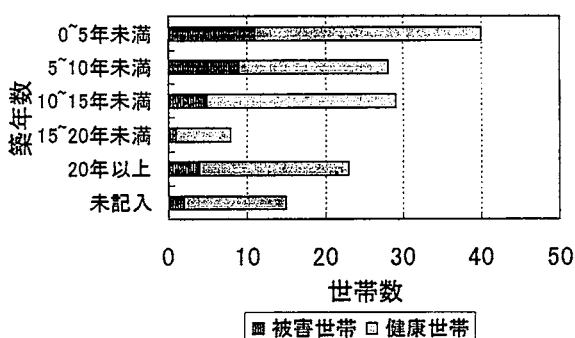


図 2.17 健康状態と築年数

また、症状別で目立つのは、母親は、①頭痛が 11 人、③倦怠感・疲労感が 12 人、⑬化学物質過敏症（MCS）・アトピー・アレルギーが 11 人と多く、子供は、⑪皮膚のかゆみ、感覚異常が 13 人、⑬化学物質過敏症・アトピー・アレルギーが 25 人と多くなっている。

(2) 外出中の健康状態

図 2.12 に外出中の健康被害の有無を示す。

「外出中の健康被害」に対し、約 12% の人が何らかの健康被害を訴えている。3.3.5 (1) 節の臭いが原因となる不快感や、長期勤務による疲労が考えられる。

3-7 健康世帯と被害世帯

i 健康状態と症状

図 2.14 に、1 人の健康被害者が訴えた症状の数を示し、図 2.15 に、同世帯で同時に健康被害を訴える家族構成員の数を示す。

「母」が、最も複数の症状を訴える者が多い。最高では、8 つの症状を訴える居住者がいる。次いで子供 A、B となっている。健康被害を訴えた全 32 世帯の内、同時に 4 人以上健康被害を訴えた世帯は 6 世帯である。この 6 世帯中 5 世帯では、1 人が 6 以上の症状を訴える者が 1 人以上含まれている。

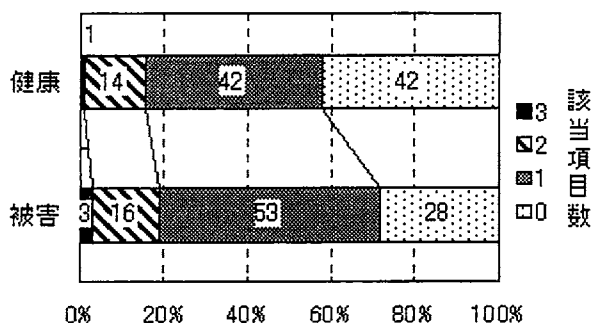


図 2.18 健康被害と汚染物質抑制行動

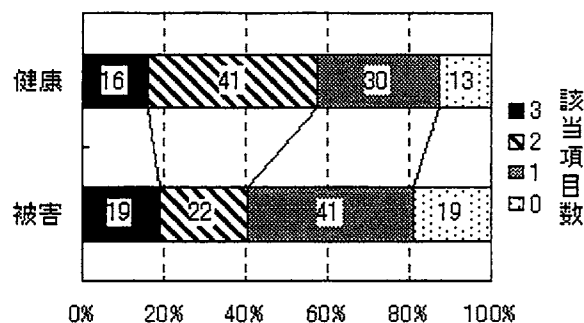


図 2.19 健康被害と換気行動

ii 健康状態と在宅時間

図 2.16 に、健康被害と在宅時間の関係を示す。

1.5 歳及び 3 歳児を持つ家庭の平均在宅時間は、父親が約 11 時間、母親が約 21 時間、子供が約 20 時間（1.5 歳及び 3 歳児の平均）であり、母親と子供は 1 日のほとんどを自宅で過ごしている。また、健康被害者数（父親:10 人、母親:20 人、子供:15 人）は、在宅時間とおおよそ比例しており、在宅時間の長い母親や子供に健康被害の訴えが多い。在宅時間と健康被害の関係では、山下らの報告³⁾においても、在宅時間が長い居住者の健康被害が多いという報告がなされており、本研究の調査結果と同じ傾向である。

iii 健康状態と築年数

図 2.17 に、健康被害と築年数の関係を示す。

築年数の経過に伴い、被害者は減少傾向にある。戸建て住宅において、築年数が若いほど健康被害が多い事を報告した檜崎らの調査結果²⁾と一致する。また、表 2.5 の「⑬化学物質過敏症、アトピー、アレルギーなど」に該当する回答者の約 40%が築 5 年未満の居住者である。

iv 健康被害と汚染物質抑制行動

図 2.18 に、健康な世帯と被害世帯における汚染物質に対する抑制行動の比較を示す。

- ① 室内でタバコを吸わない
 - ② 開放型暖房器具は部屋の空気が汚れるので使用しない
 - ③ 殺虫剤、漂白剤、芳香剤、ワックスなどの化学製品の使用を抑える
- 以上の 3 項目を汚染物質抑制行動とし、該当する数を比較している。

被害世帯の 72%が 1 項目以上を実行しているのに対し、健康世帯は 57%である。汚染物質に対する意識レベルは、被害者世帯のほうが高くなっている。

v 健康被害と換気行動

図 2.19 に、健康な世帯と被害世帯における換気行動の比較を示す。

- ① 空気清浄機を使用する
- ② 窓をこまめに開け、部屋の空気汚染防止に努める
- ③ 換気扇をよく使用する

以上の 3 項目を換気行動とし、該当する数を比較している。

健康世帯の 57%が 2 項目以上を実行しているのに対し、被害世帯は 41%である。換気を行っている割合は健康世帯のほうが被害世帯よりも高くなっている。

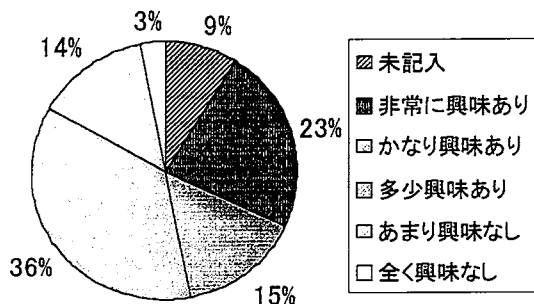


図 2.20 室内空気質汚染への興味

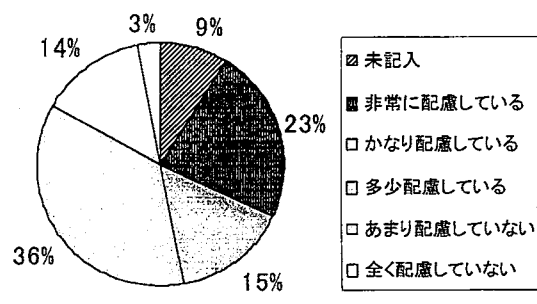


図 2.21 健康な住まい方への配慮

表 2.5 健康な住まいのための実践項目

NO.	実践項目
1	室内でペットを飼わない
2	こまめに掃除する
3	畳の上にカーペットを敷かない
4	晴れた日には、必ず布団を干す
5	室内でタバコを吸わない
6	開放型暖房器具は部屋の空気が汚れるので使用しない
7	殺虫剤、漂白剤、芳香剤、ワックスなどの化学製品の使用を抑える
8	室内の乾燥を抑えるため、加湿器を使用する
9	室内の湿気を抑えるため、除湿機を使用する
10	空気清浄器を使用する
11	窓をこまめに開け、部屋の空気汚染防止に努める
12	換気扇をよく使用する
13	その他

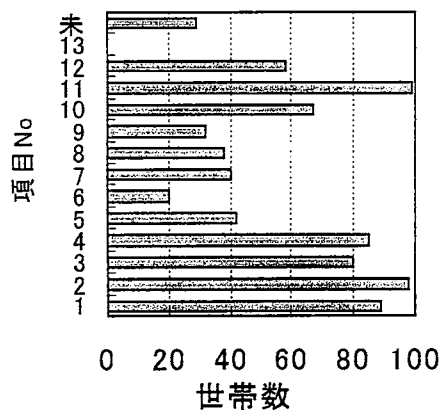


図 2.22 健康な住まい方の実践項目

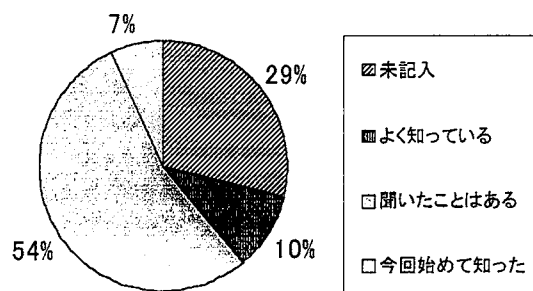


図 2.23 室内空気質汚染の知識

3-8 居住者意識

図 2.20 に室内空気質汚染への興味、図 2.21 に健康な住まい方への配慮、表 2.6 に健康な住まい方の実践項目、図 2.22 に、居住者の健康な住まい方に対する実践、図 2.23 に室内空気質汚染の知識を示す。

図 2.20 及び図 2.21 より、約 74% (①・②・③) が興味を持っており、約 81% (①・②・③) が健康な住まい方に対して何らかの配慮をしている。

図 2.22 より、健康的に住まうために様々なことを実践しており、特に①②③④⑤を実行している世帯数は多い。一方、⑥を実践している世帯は 20 世帯と少ない。

図 2.23 より、この問題を聞いたことのある人は半分以上 (54%) を占めているものの、よく知っている人はわずか 10% である。室内空気に対して様々な配慮をしていることが伺えるが、化学物質による室内空気汚染を良く知っている居住者は少ない。研究により得られる成果は積極的に公表して、出来るだけ多くの居住者が、室内空気質に関する知識を教授することが出来るように配慮する必要がある。

4. 本章のまとめ

健康被害に関しては、既存のアンケートと比較的近い結果となっているが、健康被害と汚染物質抑制行動や換気行動の関係では、新しい知見も得られている。

以下に調査結果をまとめる。

- ① 春、秋、夏に冷房を稼働しない場合に換気をしない世帯は少ないが、冷暖房を稼働した場合及び冬季の暖房稼働無しの場合では、換気が不十分であると考えられる。
- ② 周辺地域に対して、熊本市街地周辺の住民は「車の排気ガス」に対して、郊外の居住者は「煙の消毒」に対する不快感が多い。外気の清浄度が低い場合には、室内の化学物質放散低減化がより重要である。
- ③ 在宅時の「気になる臭い」は「冷暖房器具」が目立つ。
- ④ 健康被害は、築年数が若い住宅に居住する世帯の在宅時間が長い母親や子供に多い。
- ⑤ 家族中に 4 人以上健康被害を訴える世帯では、症状が 4 つ以上の者が存在しており重篤な被害が考えられる。
- ⑥ 健康被害世帯は、汚染物質抑制行動に対してより感心が向けられており、健康な世帯では換気に対する行動により感心が向けられている。
- ⑦ 室内空気の正常化には、生活上様々な配慮をしているが、室内空気環境に関する知識が不足している。

また、本アンケート調査結果の範囲において、室内空気質汚染に起因すると考えられる健康被害者の全体像は、以下のようにまとめることが出来る。

1. 比較的都市部の 5 年以下の建築物に居住している場合が多い。
2. 在宅時間が長く、外気に触れる機会が少ない。
3. 罹患以前は不明であるが、罹患後は換気行動よりも汚染物質抑制行動に感心がある。
4. 同時に複数の症状を自覚している。
5. 母子が同時に健康被害を自覚することが多い。

6. 健康な住まい方に感心があるが、知識が不足している。

室内空気質汚染による健康被害を回避するためには、室内空気質の汚染を低く抑える必要がある。外気の汚染や冷暖房時のように、換気による空気清浄化が制限されるような場合や、外気に対して不快感を持っているような場合では、住宅内の化学物質低減化がより必要であろう。

本章におけるアンケート調査は、幼児のいる世帯が対象であるため、全体的に若い世代の家族が調査対象となっている。今後はさらにアンケート対象の拡大、アンケート数の増加、回収率の改善等を検討して、数年置きに実施してデータの蓄積を計りたい。

【参考文献】

- 1) 田辺新一, 渡辺弘司, 岸田宗治:シックハウスに関するアンケート調査, 平成 11 年度厚生科学研究補助金(生活安全総合研究事業)住宅における生活環境の衛生問題の実態調査報告書, pp.29~52,2000.3
- 2) 檜崎正也:住まいと健康に関するアンケート調査ー戸建て住宅と集合住宅の比較, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D2, pp.759~760,1998.9
- 3) 山下将司, 熊谷一清, 山本長臣, 田辺新一:シックハウスに関するアンケート調査その 2 病状を訴える居住者および居住者と住宅供給者意識の関連について, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D2, pp.805~806,2000.9
- 4) 庄司研, 吉野博, 石川善美, 高嶋涼子:戸建て住宅のアンケート調査による室内空気環境の地域差等の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D2, pp.757~758,1998.9
- 5) 熊谷一清, 山下将司, 山本長臣, 田辺新一:シックハウスに関するアンケート調査その 1 居住者と設計・施工者へのアンケート, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D2, pp.803~804,2000.9
- 6) 塩津弥生, 池田耕一, 吉澤晋:自由記述による「よい空気」についての意識調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D2, pp.807~808,2000.9
- 7) 赤林伸一:化学物質汚染に関する住まい手の意識と生活に伴う汚染発生の実態調査, 化学物質による室内空気汚染の現状と対策報告会ー室内化学物質による室内空気汚染に関する研究の最先端ー要旨集, 日本建築学会, pp.1~5,1999.7
- 8) 牟田芳, 松本博:東三河地域における住まい方と健康に関する調査研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D2, pp.809~810,2000.9

第3章

新築住宅を中心とした実測調査

1. 本章の目的

近年、住宅の気密性能の向上に伴い、化学物質による室内空気質汚染が、居住者に健康障害をもたらす原因といわれ、社会的問題となっている。このため、行政的な対策がなされてきている。例えば、厚生労働省では「シックハウス（室内空気汚染）問題に関する検討会」によって室内空気質のガイドラインの設定や測定時のマニュアルの策定等が行われ、国土交通省では住宅性能表示制度において室内空気環境項目を導入する等、具体的に行われてきている。

化学物質による室内空気質汚染の評価では、総揮発性有機化合物（Total Volatile Organic Compounds = TVOC）が汚染程度を全体的な指標として考えられ、その他個別の揮発性有機化合物（Volatile Organic Compounds = VOCs）もそれぞれ評価対象とされている。特に、ホルムアルデヒド（HCHO）は、挙動の特殊性や毒性の強さ⁷⁾から、JAS 規格や JIS 規格等においても建材の安全性評価対象とされている。

このような化学物質による室内空気質汚染の実態把握は、対策を考える上で重要と考えられ、実測調査の報告は多くの研究者によってもなされて来ている¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾。例えば、熊谷らの報告¹⁾では、入居前と比較して HCHO と TVOC 濃度が大きく減少することや、TVOC と築年数との相関の高さなどが明らかにされた。桑沢ら²⁾は建築後 1 ヶ月以上の住宅を対象に TVOC 濃度と気温との相関の高さを指摘している。また、尾山ら⁵⁾は環境共生住宅を対象とした実測において、夏季秋季とも杉材を発生源と考えられるセスキテルペン類の検出を報告している。さらに、田辺ら⁸⁾は室内空気汚染対策を行った実験住宅の化学物質を測定して、放散が少なかったことを報告している。

しかし、実験住宅を除いて戸建て住宅の実測では、多くの事例は入居後である場合が多い。入居済み住宅の実測では、建材等に起因する化学物質の他に、家具や芳香剤等、居住者によって持ち込まれる生活環境からの化学物質も含んだ結果となる²⁾。この場合、居住者の生活状況で容易に室内空気汚染の状態は変化すると考えられるため、生活環境下における汚染状況の把握には有益であるが、建材や施工に起因する室内空気質汚染の把握は困難であり、住宅自体に起因する汚染状況の把握には、未入居状態に限定した実測が必要であろう。また、工事終了から入居までの比較的短期間における化学物質濃度の経時変化や、実空間での化学物質濃度と温度湿度の相互作用について、同じ仕様の複数の未入居住宅における実測により検討する必要もあると考えられるが、報告例は少ない²⁾⁴⁾。

そこで、1999 年～2001 年にかけて熊本市内における内装終了後 3 ヶ月以内の未入居の新築戸建住宅について測定を行った。

本章では、住宅の建材等に起因する化学物質の室内濃度と室温、湿度、内装終了からの経過日数、建物の相当隙間面積等との関係を把握するため、熊本市内における内装終了後 3 ヶ月以内の未入居の新築戸建て住宅について分析を行った結果を中心に報告する。

表 3.1 測定住宅概要

住宅	内装工事終了 からの 経過日数	総床面積 [m ²]	隙間相当面積 [cm ² /m ²]	測定日
A**	83 日	132.14	7.38	99.11.09
B*	25 日	135.35	5.23	00.02.01
C	16 日	126.25	3.22	00.02.26
D*	17 日	131.44	4.51	00.03.01
E*	14 日	166.53	4.66	00.04.15
F	14 日	119.13	5.70	00.05.02
G*	0 日	123.85	5.22	00.05.23
H*	34 日	124.43	3.12	00.06.06
I	43 日	127.17	4.33	00.06.20
J	52 日	120.50	4.37	00.06.27
K*	93 日	138.34	4.61	00.07.04
L*	19 日	131.36	3.14	00.07.11
M	14 日	141.17	4.15	00.07.18
N	18 日	131.30	3.95	00.07.26
O	30 日	124.18	3.34	00.08.01
P*	21 日	131.5	5.95	01.05.22

TVOC と ホルムアルデヒドは上記の全住宅で測定している

* 網掛けの住宅は個別の VOCs も測定している

**A 住宅の隙間相当面積は解析から除外している

2. 測定概要

2-1 測定住宅概要

表 3.1 に、分析対象とした熊本市内の建築後 3 ヶ月以内の未入居住宅概要を示す。
表 3.2 には内装仕様を示す。

全ての住宅は木造軸組みの在来工法であり、同一ハウスメーカーによる施工で、内装仕様は共通している。住宅のグレードは同社の標準的なものであるが、住宅の気密性能には多少のばらつきがある。それぞれの住宅で、外気、1 階リビング、2 階洋室を測定している。

2-2 測定方法

表 3.3 に測定作業日程、表 3.4 に測定条件を示す。

全住宅で温湿度、HCHO 濃度、TVOC 濃度、相当隙間面積(減圧法)を測定している。また、個別の VOC 分析のために、室内空気、屋外空気のサンプリングも行っている。HCHO 濃度の測定には DNPH-HPLC 法、TVOC 濃度の測定は光音響法

表 3.2 内装材

部位	内装材
床	合板 (F_1 又は F_{C0}) + 床板 (F_1 又は F_{C0})
壁	石膏ボード + 壁紙 (PVC) + 接着剤 (澱粉系)
天井	石膏ボード + 壁紙 (PVC) + 接着剤 (澱粉系)

その他：造作用接着剤（酢酸ビニル樹脂系）

表 3.3 測定日程

	作業内容
測定前日	開口部開口による換気 約 30 分 閉切り 8 時間以上
測定日	化学物質濃度測定 VOCs, TVOC, HCHO 気密性能測定
測定点	(室内) 部屋中央部の床上 1.2m (屋外) 外壁から約 2m

表 3.4 測定・分析方法

対象	項目	内容
VOCs	分析法	固相吸着/溶媒抽出-GC/MS 法
	サンプラー	活性炭チューブ
	捕集*	500ml/min 10min
	分析装置	GC/MS
	オープン	昇温プログラム
HCHO	分析法	DNPH/溶媒抽出-HPLC 法
	サンプラー	Sep-Pak DNPH-SILICA
	捕集*	1000ml/min 20min
	分析装置	HPLC
	オープン	40℃

*室温が低い場合 (20℃以下) は 30 分吸引

(PAS)による TVOC 濃度計、個別の VOC はチャコールチューブによる固相吸着/溶媒抽出-GC/MS 法を用いている。相当隙間面積を求めるための気密測定には、気密性能試験器を用いている。

室内空気のサンプリングは、測定前日の夜に窓やドア等、全開口部を開けて 30 分間以上換気した後、全開口部を閉め切り 8 時間以上経過した測定当日の午前中に行っている。サンプラーは、三脚を用いて、各部屋中央付近の床面から約 1.2m の高さに設置している。相当隙間面積算出のための気密測定は、当該新築住宅の室内空気のサンプリング終了後に行っている。なお、個別の VOCs も測定しているため、

TVOC 濃度は VOCs の合計で求めるべきであるが、未同定物質の存在や作業の煩雑さを避けるために、PAS の TVOC 濃度測定値を採用している。PAS 測定値と VOCs 合計による TVOC 濃度との関係は、PAS による測定値のほうが数倍高くなる傾向があるが、良い相関が得られている^{注1}。

3. 測定結果及び考察

室内空気中の化学物質濃度は、室内での化学物質測定濃度から外気中の化学物質測定濃度を差し引いた値とした。また、相関性の有無や強弱の判断は、一般的な以下の基準による。

相関性なし	$ R < 0.4$
弱い相関性あり	$0.4 \leq R < 0.6$
相関性あり	$0.6 \leq R < 0.8$
強い相関性あり	$0.8 \leq R $

3-1 TVOC と HCHO の測定結果

表 3.5 に、洋室と居間の測定結果を示す。表中の日数は、内装終了から測定時までの経過日数を表す。

TVOC 濃度は、トルエン換算された PAS 測定値の直読値である。測定時の室温は熱力学温度[K]、室内湿度は絶対湿度[kg/kg-DA]で示す。

TVOC 及び HCHO 濃度とも高濃度に検出されており、建材などの選別や竣工後の濃度低減対策が必要であろう。

図 3.1～図 3.4 に、室温、絶対湿度、内装からの日数、隙間相当面積と TVOC 濃度との関係を示す。図 3.5～図 3.8 に、HCHO 濃度との関係を示す。さらに、表 3.6 にそれぞれの要素間の相関係数を示す。

図 3.1 と図 3.2 に示す、室温及び絶対湿度と TVOC 濃度の関係では、室温、絶対湿度の上昇と共に TVOC も低濃度から高濃度域へと推移している。室温、絶対湿度と TVOC 濃度との相関係数は、それぞれ約 0.62 及び 0.44 である。室温や絶対湿度とは相関、及び弱い相関が見られる。

図 3.3 と図 3.4 に示す、内装終了からの日数及び相当隙間面積と TVOC 濃度の関係では、測定値は広く分散し、相関係数は約 -0.22 及び -0.06 である。相関はほとんどない。測定対象が内装終了から 3 ヶ月以内と比較的短期間で、さらに未入居により閉切り状態であるため、換気による自然低減が少ないためと考えられる。

図 3.5 と図 3.6 に示す、室温及び絶対湿度と HCHO 濃度の関係では、室温絶対湿度の上昇と共に測定値も低濃度域から高濃度域へと推移している。相関係数は室温が約 0.73、絶対湿度とは約 0.75 である。TVOC 濃度の場合よりも相関が高くなっている^{注2}。

図 3.7 と図 3.8 に示す、内装終了からの日数と隙間相当面積に対する HCHO 濃度の関係では、相関係数は約 0.32 と -0.25 である。TVOC 濃度の場合と同様に相関は見られない。

表 3.5 測定結果

住宅		室温	絶対湿度	日数	TVOC	HCHO	住宅		室温	絶対湿度	日数	TVOC	HCHO
		[K]	[kg/kg-DA]		[mg/m³]	[ppm]			[K]	[kg/kg-DA]		[mg/m³]	[ppm]
洋室	A	291	0.0064	83	9.3	0.127	リビング	A	288.4	0.006	83	8.7	0.09
	B	278.2	0.0039	25	43.9	0.063		B	277.5	0.0033	25	29.1	0.05
	C	280.7	0.0045	16	94	0.08		C	280.7	0.0038	16	53.2	0.086
	D	283.6	0.0045	17	61.2	0.078		D	280.5	0.004	17	38	0.081
	E	292.7	0.0083	14	84.8	0.072		E	291.8	0.0081	14	44.9	0.074
	F	295.6	0.0096	14	124.6	0.125		F	294	0.0096	14	89.7	0.155
	G	299.5	0.0013	0	176.1	0.245		G	299.1	0.0127	0	139	0.207
	H	300.5	0.0127	34	157.1	0.239		H	299.5	0.0117	34	128.3	0.201
	I	300.5	0.0136	43	82.7	0.404		I	298.6	0.0115	43	79.6	0.423
	J	300.9	0.0156	52	158.2	0.536		J	300.1	0.0158	52	120.6	0.458
	K	305.8	0.0186	93	102.8	0.223		K	303.9	0.0181	93	106.7	0.706
	L	304.2	0.0152	19	100.2	0.447		L	303.6	0.0158	19	77.6	0.408
	M	305.6	0.0178	14	81.4	0.323		M	303.8	0.0165	14	136.1	0.194
	N	302.7	0.0141	18	116.9	0.303		N	302.4	0.0155	18	92.3	0.449
	O	301.8	0.0137	30	107	0.371		O	300.8	0.0129	30	83.6	0.292
	P	300	0.0105	21	53.2	0.18		P	299.4	0.0121	21	58	0.2

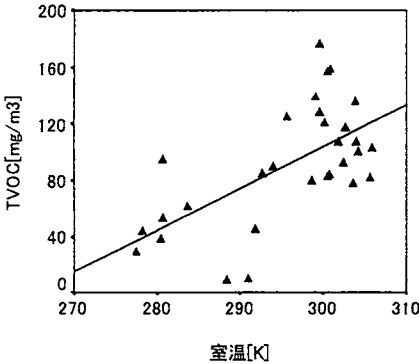


図 3.1 室温濃度と TVOC

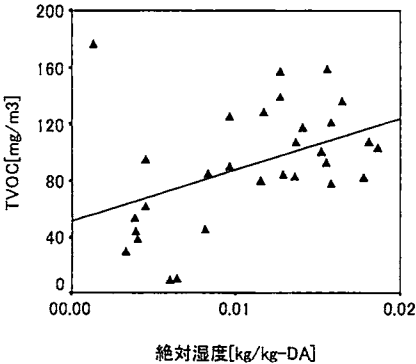


図 3.2 絶対湿度と TVOC 濃度

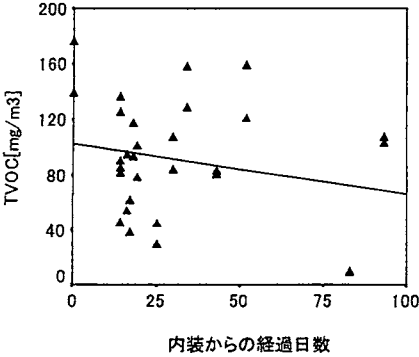


図 3.3 内装からの経過日数と TVOC 濃度

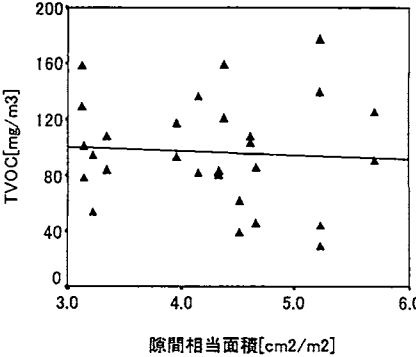


図 3.4 相当隙間面積と TVOC 濃度

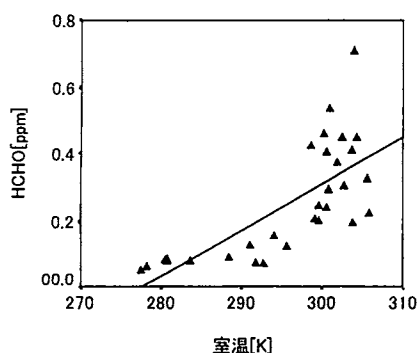


図 3.5 HCHO 濃度と室温

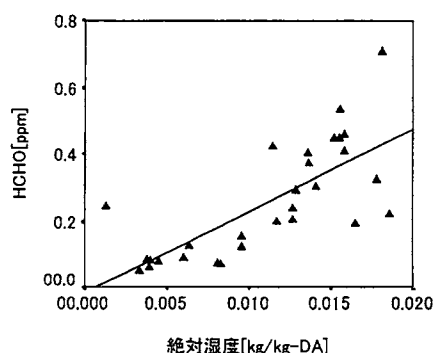


図 3.6 HCHO 濃度と絶対湿度

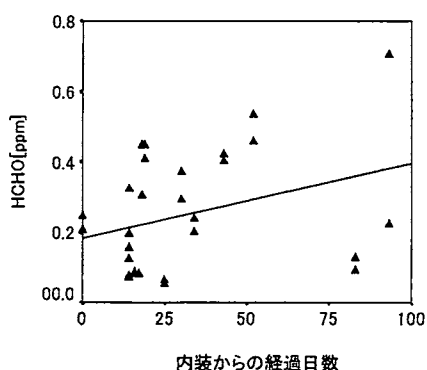


図 3.7 HCHO 濃度と内装からの経過日数

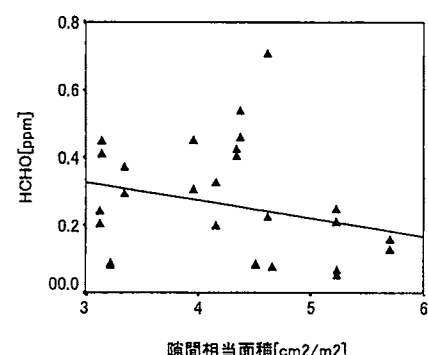


図 3.8 HCHO 濃度と相当隙間面積

表 3.6 相関係数

		室温	絶対湿度	内装からの経過日数	相当隙間面積	TVOC濃度	HCHO濃度
室温	相関係数	1	-	-	-	-	-
	有意確率(両側)						
	N	30					
絶対湿度	相関係数	0.870**	1	-	-	-	-
	有意確率(両側)	0.000					
	N	30	30				
内装からの経過日数	相関係数	0.165	0.285	1	-	-	-
	有意確率(両側)	0.384	0.127				
	N	30	30	30			
相当隙間面積	相関係数	-0.226	-0.279	-0.054	1	-	-
	有意確率(両側)	0.247	0.151	0.785			
	N	28	28	28	28		
TVOC濃度	相関係数	0.624**	0.440*	-0.221	-0.061	1	-
	有意確率(両側)	0.000	0.015	0.240	0.758		
	N	30	30	30	28	30	
HCHO濃度	相関係数	0.729**	0.748**	0.323	-0.251	0.443*	1
	有意確率(両側)	0.000	0.000	0.081	0.197	0.014	
	N	30	30	30	28	30	30

**相関係数は 1% 水準で有意(両側)

*相関係数は 5% 水準で有意(両側)

表 3.7 選別した VOCs

アルカン類
ヘプタン, オクタン, ノナン, デカン, ウンデカン, ドデカン, トリデカン, テトラデカン, ペンタデカン
芳香族
トルエン, エチルベンゼン, p-キシレン, m-キシレン, o-キシレン, スチレン, 124トリメチル, ベンゼン, 123トリメチルベンゼン
テルペン類
α -ピネン, β -ピネン, リモネン
カルボニル類
メチルイソブチルケトン, デカナール
ハロカーボン類
テトラクロロエチレン, 1,4ジクロロベンゼン

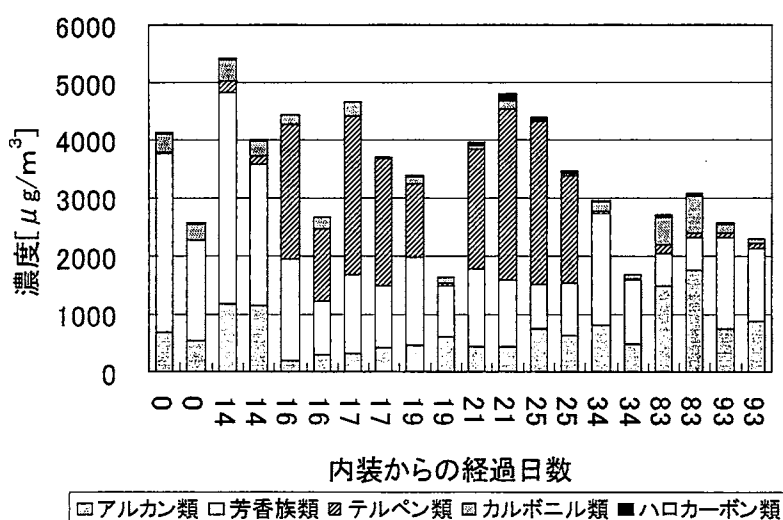


図 3.9 内装からの経過日数と VOCs 分類別積算濃度

3-2 VOCs 分類別測定結果

表 3.7 に同定した VOCs を示す。

検出された全てのピークを同定、定量することが出来ないため、既報の研究¹⁰⁾をもとに 24 種類の VOCs を選別して分析している。このため、検出された化学物質の合計濃度に対する選別した VOCs の真の占有率は不明である。しかし、選別された VOCs のピーク合計面積は、各測定において検出された全ピーク面積の 70% 以上を占めている。なお、GC/MS により検出された化学物質の合計濃度である TVOC 濃度と、PAS で測定された TVOC 濃度との関係においては、PAS の応答差を考慮する必要がある^{注1)}。

図 3.9 に、内装からの経過日数と検出された上述 24 種の VOCs 分類別積算濃度

表 3.8 TVOC, HCHO 濃度と VOCs の分類別濃度の相関係数

		TVOC濃度	HCHO濃度
TVOC濃度	相関係数 有意確率	1	—
HCHO濃度	相関係数 有意確率	0.466 0.051	1
アルカン類	相関係数 有意確率	-0.279 0.262	-0.104 0.681
芳香族類	相関係数 有意確率	0.722** 0.001	0.072 0.775
ハロカーボン類	相関係数 有意確率	-0.425 0.079	-0.156 0.537
カルボニル類	相関係数 有意確率	-0.144 0.567	-0.158 0.532
テルペン類	相関係数 有意確率	-0.445 0.064	-0.5* 0.035

** 相関係数は1%水準で有意(両側)

N=18

* 相関係数は5%水準で有意(両側)

表 3.9 VOCs の分類別測定結果

TVOC [mg/m ³]	HCHO [ppm]	アルカン類 [μg/m ³]	芳香族類 [μg/m ³]	テルペン類 [μg/m ³]	カルボニル類 [μg/m ³]	ハロカーボン類 [μg/m ³]
176.1	0.245	672.5	3074.7	17.4	325.2	5.0
124.6	0.125	1166.7	3650.6	175.7	370.4	28.3
94.0	0.080	200.5	1736.1	2327.1	169.0	0.0
61.2	0.078	326.4	1350.0	2732.9	244.1	0.0
100.2	0.447	439.8	1491.7	1261.3	120.0	29.3
43.9	0.063	748.2	733.4	2826.8	31.8	53.0
157.1	0.239	777.0	1917.0	15.8	163.9	35.4
9.3	0.127	1375.7	551.3	161.0	458.0	50.5
102.8	0.223	741.7	1561.4	83.1	137.7	9.6
139.0	0.245	517.6	1697.4	15.7	266.0	15.6
89.7	0.125	1128.0	2388.4	149.4	280.9	24.4
53.2	0.080	297.7	909.6	1225.4	202.5	0.0
38.0	0.078	409.1	1064.4	2174.9	31.0	0.0
77.6	0.447	594.7	863.8	67.2	85.4	8.9
29.1	0.063	632.0	879.0	1839.6	26.4	57.1
128.3	0.239	470.3	1094.7	11.7	72.9	11.5
8.7	0.127	1736.0	552.4	78.6	633.0	57.3
106.7	0.223	880.1	1213.4	109.8	67.9	12.4
53.15	0.11	337.9	1222.2	2050.3	74.6	55.0
58	0.2	365.0	1071.9	2980.2	145.2	112.2

を示す。未同定物質は含んでいない。

すべての住宅でアルカン類, 芳香族炭化水素類(以後, 芳香族類), テルペン類が多く検出されている。アルカン類及び芳香族類は, 主に接着剤や塗料に起因すると考えられる。

表 3.8 に, VOCs の分類別濃度と TVOC 及び HCHO 濃度との相関を示す。表 3.9 に, それぞれの測定値と対応する TVOC 濃度及び HCHO 濃度を示す。

芳香族類の TVOC との相関は約 0.72 であり, PAS による TVOC 濃度との相関が最も高い^{注1}。これ以外では, 有意確率の高さから余り有意性が無い。

表 3.10 化学物質の沸点と濃度の相関係数

		アルカン類	芳香族類	カルボニル類	ハロカーボン類	テルペン類
濃度	相関係数	-0.135	-0.659**	-0.048	-0.427**	-0.453**
	有意確率	0.107	0.000	0.779	0.009	0.006
	N	144	126	36	36	36

** 相関係数は1%水準で有意(両側)

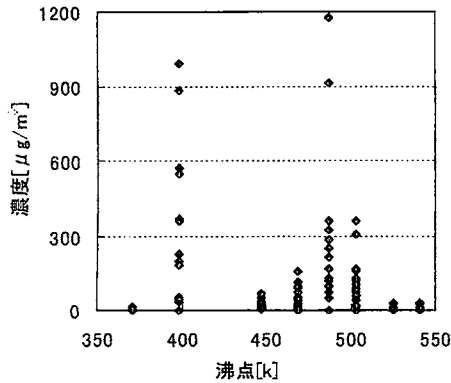


図 3.10 アルカン類の沸点と濃度

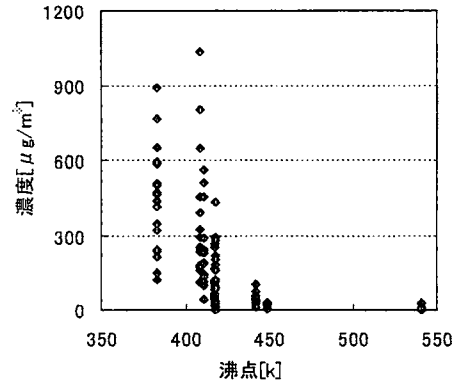


図 3.11 芳香族類の沸点と濃度

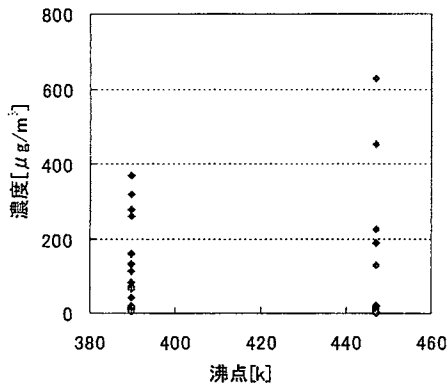


図 3.12 カルボニル類の沸点と濃度

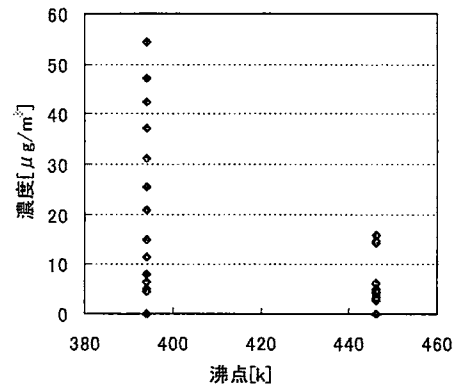


図 3.13 ハロカーボン類の沸点と濃度

表 3.10 に VOCs の各分類別に当該分類に含まれる VOCs の沸点[K]と、その化学物質が検出された濃度の相関を示す。図 3.10~図 3.14 に、VOCs の沸点毎に濃度を示す。アルカン類とカルボニル類は相関が見られないが、芳香族類は負の相関、ハロカーボン類とテルペン類は弱い負の相関が見られる。

同じ分類の化学物質では低沸点の化学物質ほど、より高濃度域まで検出されていることから、天然有機化合物であるテルペン類を除き、接着剤や溶剤へは低沸点の化学物質が比較的多く使用されていた可能性が推測できる。

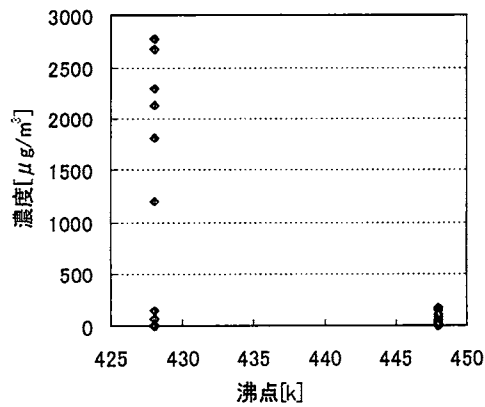


図 3.14 テルペン類の沸点と濃度

3-3 重回帰モデルによる分析

表 3.6 に挙げた各要素が TVOC 濃度及び HCHO 濃度に与える影響を，重回帰モデルの回帰係数により検討する。回帰係数は，要素間の単位の相違による影響をなくするため，標準偏回帰係数を用いる。重回帰式を以下に示す。

$$\hat{y} = b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4$$

\hat{y} : 濃度予測値

b_p : 標準偏回帰係数

x_1 : 内装工事からの日数

x_2 : 室温

x_3 : 絶対湿度

x_4 : 総隙間相当面積

表 3.11 及び表 3.12 に，TVOC 濃度と HCHO 濃度の重回帰モデルの各係数を示す。図 3.15 と図 3.16 に，TVOC 濃度と HCHO 濃度の実測値と予測値との関係を示す。

TVOC 濃度と HCHO 濃度の両方で室温の回帰係数が最も高い。濃度増減への寄与が最も大きいと考えられる。絶対湿度は負の回帰係数であるが，表 3.6 において，TVOC 濃度との相関係数は正である。この符号の矛盾を検討するため，表 3.13 に一定室温とした場合の，室温以外の 3 つの要素について標準偏回帰係数を示す。絶対湿度は正の係数になり，係数の値は最も大きい。したがって，一定室温では，室内空気中の化学物質濃度と正の関係があり，表 3.6 の相関係数と矛盾しない。このことから，一義的には室温が化学物質濃度を左右し，同一室温であれば絶対湿度が影響を与えていると考えられる。内装工事からの日数と相当隙間面積は係数が低く，有意性もない。入居後は生活による換気と時間の経過により建材由来の化学物質濃度が低減すると考えられるが¹⁾，表 3.6 の相関係数と併せて考察すると，入居前の

表 3.11 TVOC の分散分析及び標準回帰係数

分散分析

	平方和	自由度	平均平方	F値	有意確率
回帰	19901.7	4	4975.4		
残差	18290.7	23	795.2	6.256	.001
全体	38192.3	27			

	標準化係数	t	有意確率
	β		
室温	1.257	4.152	0.000
絶対湿度	-0.739	-2.168	0.041
内装からの経過日数	0.067	0.378	0.709
相当隙間面積	0.021	0.141	0.889

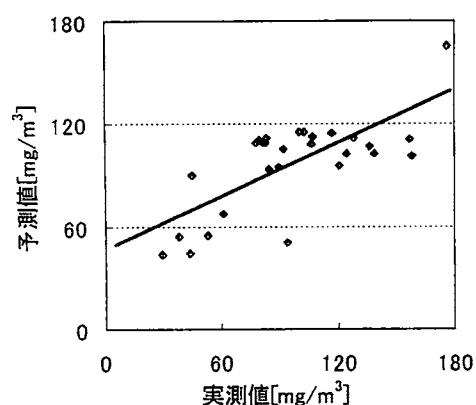


図3.15 TVOC濃度実測値と予測値比較

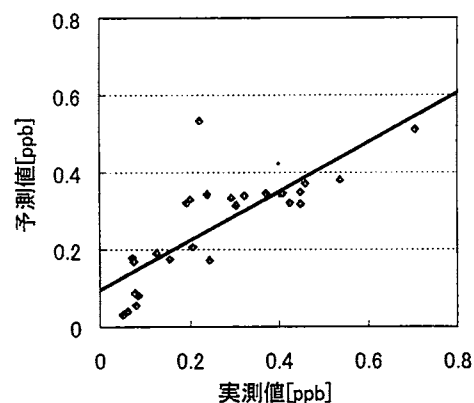


図3.16 HCHO濃度実測値と予測値比較

表3.12 HCHOの標準回帰係数

	標準化係数	t	有意確率
	β		
室温	0.503	1.915	0.068
絶対湿度	0.106	0.358	0.724
内装からの経過日数	0.326	2.126	0.044
相当隙間面積	-0.090	-0.688	0.498

表 3.13 一定室温における TVOC の標準偏回帰係数

	標準化係数	t	有意確率
	β		
絶対湿度	0.474	2.085	0.048
内装からの経過日数	-0.153	-0.700	0.491
相当隙間面積	0.063	0.320	0.751

表 3.14 VOCs 分類別濃度による分散分析及び標準回帰係数

分散分析

	平方和	自由度	平均平方	F値	有意確率
回帰	35098.6	5	7019.7		
残差	6084.4	12	507.0	13.8	.000
全体	41183.0	17			

	標準化係数	t	有意確率
	β		
アルカン類	-.695	-2.580	.024
芳香族類	.610	4.957	.000
ハロカーボン類	.190	1.015	.330
カルボニル類	-.074	-.424	.679
テルペン類	-.647	-4.301	.001

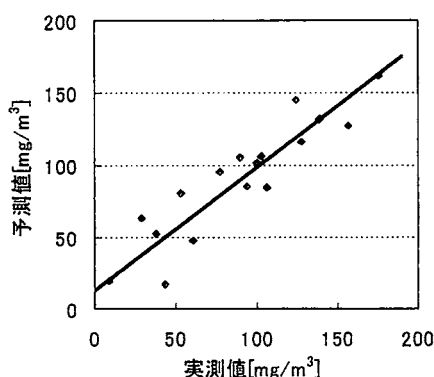


図 3.17 TVOC 濃度実測値と予測値比較

ように締切り状態が多い場合、内装工事終了から3ヶ月以内程度では、濃度低減は少ないと考えられる。また、一般に相当隙間面積が広いほど低濃度に寄与すると考えられるが、図3.4と回帰係数によればほとんど影響が認められない。隙間による換気には、外部の風や住宅周辺の状況が影響するため¹²⁾、相当隙間面積単独では室内空気質の評価に適していないと言えよう。

表3.14及び図3.17に、VOCs分類別濃度とTVOC濃度の回帰係数及び予測値と実測値を示す。芳香族類がTVOC濃度上昇に最も寄与している。テルペン類は濃度上昇によりTVOC濃度上昇に寄与するが、負の係数を示すのは、先に述べた図3.9における、テルペン類と芳香族類との濃度関係による影響であり、より相関が高い芳香族類の寄与が優先されたためと考えられる。その他の単独の係数では、有意性は余り無い。

4. 本章のまとめ

本章では、以下のような結論を得た。

- 1, TVOC 濃度, HCHO 濃度ともほとんどの住宅で高濃度であり, 竣工前後の濃度低減策が必要である。
- 2, VOCs と HCHO 濃度上昇は室温上昇が大きく関与し, 同一室温であれば絶対湿度が影響を与えている。
- 3, TVOC 濃度には, 芳香族類が最も大きく寄与している。
- 4, 塗料や接着剤の溶剤としては, 低沸点の化学物質が多く使用されていると推測できる。
- 5, 内装工事終了からの日数と相当隙間面積は, 化学物質濃度との相関は見られなかった。

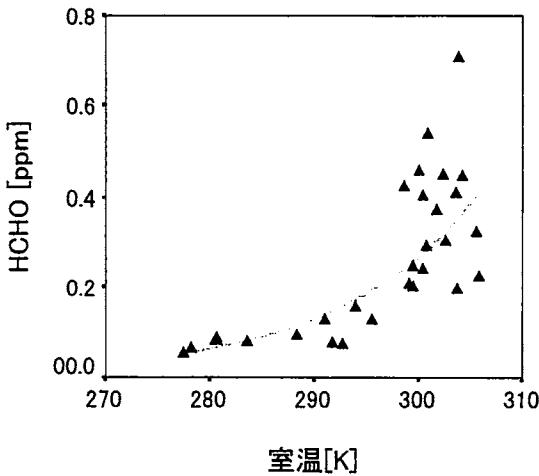
未入居住宅等では開口部を閉鎖している状態が多く, 内装終了から 3 ヶ月程度では, 換気による化学物質濃度の自然低減があまり期待できない。一方, この時期における室内空気中の化学物質濃度は比較的高く, 芳香族類やアルカン類のように溶剤として用いられる化学物質による寄与が大きい。竣工前後での濃度低減策が必要であろう。

【参考文献】

- 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 No.522，pp.45~52,1999.8
- 2)桑沢保夫，坊垣和明：完成直後の集合住宅における室内空気質の調査，日本建築学会学術講演梗概集 D2(関東)，pp.917~918,2001.
- 3)中川雅至，大澤元毅，桑沢保夫，坊垣和明，吉野博，太田直希：健康的な居住環境形成技術の開発第 5 報室内空気質調査結果の VOC 濃度に関する検討，日本建築学会学術講演梗概集 D2(東北)，pp.737~738,2000.
- 4)岩下剛，合原妙美，高橋睦，尾山秀平：鹿児島市内の新築戸建住宅の入居前における VOC 実測，空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集(盛岡)，pp.501~504,2000.
- 5)尾山秀平，岩下剛：環境共生住宅の室内温熱空気環境に関する実測調査，日本建築学会学術講演梗概集 D2(関東)，pp.913~914,2001.
- 6)八木成江，東実千代，守屋好文，疋田洋子：戸建て住宅における室内空気質の実測調査，日本建築学会学術講演梗概集 D2(中国)，pp.735~736,1999.
- 7)堀雅宏：室内空気質の測定評価の考え方と実施方法，第 1 回室内空気質計測シンポジウム講演資料集，人間・生活環境系会議，pp.18~24,1998.6
- 8)田辺新一：化学物質汚染低減化対策を行った実験住宅のアルデヒド類，VOC の実測，日本建築学会学術講演梗概集 D2(中国)，pp.739~740,1999.
- 9)中川雅至，大澤元毅，桑沢保夫，坊垣和明，吉野博，太田直希：健康的な居住環境形成技術の開発第 4 報室内空気質(ホルムアルデヒド)調査結果，日本建築学会学術講演梗概集 D2(東北)，pp.735~736,2000.
- 10)平成 8 年度快適な暮らしのスタイル開発促進事業，建材・機械等の揮発性有機化合物に関する調査研究，(財)ビル管理教育センター,1999.
- 11)野崎淳夫，堀雅宏，入江建久，小竿真一郎，池田耕一，原田浩一郎，吉澤晋：建材由来の VOC,ホルムアルデヒド汚染に関する研究(1)(VOC 発生量・濃度予測に関して)，日本建築学会学術講演梗概集 D2(九州)，pp.839~840,1998
- 12)桑沢保夫，大澤元毅，中川雅至，坊垣和明，吉野博：健康的な居住環境形成技術の開発第 5 報室内空気質調査結果の VOC 濃度に関する検討，日本建築学会学術講演梗概集 D2(東北)，pp.737~738,2000.

注 1：参考文献 10)において、15 種 VOC 混合ガスと HCHO について PAS の応答性に関する実験が報告されている。この報告では、マスバランスモデルの予測値より PAS は約 3.3 倍高い値が報告されている。ただし、ハロゲンやケトンへの低感度も指摘されている。また、野崎らの建材別実測において、GC/FID と PAS による測定結果では最大約 23 倍程度の差があるが、一方で、室温上昇に伴う濃度上昇はよく符合するという報告もある¹¹⁾。本報の実測では、クロマトグラムのピーク面積では、平均して 70%以上が同定されているが、化学物質数では平均 57 種を検出しているのに対し、同定しているものが 24 種と同定率が半数程度であること、同定した化学物質中のハロゲンやケトンの割合が多くの場合 12~13%前後であり影響が少ないこと、他の化学物質との相関の高さ、及び使用建材の共通性から、PAS の測定値を用いている。

注 2：HCHO 濃度と室温では、曲線回帰のほうが高い相関が得られる⁹⁾。本章の実測結果においても指数回帰モデルでは、R 値約 0.86、 R^2 値約 0.75 となり本文中直線回帰モデルよりもよく適合している(補図 1)。しかし、本章では他の測定値との関係から直線回帰により検討している。



補図 1

第 4 章

化学物質放散量簡易測定法の検討

1. 本章の目的

近年、シックハウス症候群や化学物質過敏症¹⁾²⁾³⁾が社会問題となっている。HCHO や VOCs は、この問題の主要因の一つと考えられており、3 章では新築住宅の室内空気質汚染の状況把握を行った。

室内空気質の測定法や改善方法に関する研究報告も多くなされている⁴⁾⁵⁾⁶⁾。これらの報告の測定法は、検知管法や濃度計、簡易 AHMT 法などの現場での迅速な分析が可能である簡易法と、ポンプと吸着剤を用いる DNPH-ポンプ法や、ポンプを用いず 24 時間室内に放置して行うパッシブサンプラー法などのように、空気の捕集後 GC, GC/MS, HPLC により定性分析や定量分析を行う精密法が用いられている⁷⁾。また、建材からの化学物質放散量については、JIS 規格等により製造後にデシケータ法によって測定されている。

室内空気質汚染対策では、建築物内の部分的な改善を行う等、化学物質の放散部位の特定が必要となる場合も考えられる。しかし、住宅に現に使用されている建材からの化学物質放散量の測定は、従来の検知管法や簡易 AHMT 法など簡易法で行うことができず、FLEC システム等の装置を用いて捕集した後に、精密法と同じく GC, GC/MS, HPLC などで定性・定量することが多い。このため、住宅等室内での揮発性有機化合物による汚染原因の特定などの対応には時間を要し、迅速な対処が困難になっている。

本章では、特に既存の HCHO 簡易測定法⁷⁾⁸⁾に改良を加え、現場で迅速に化学物質放散部位を特定できる簡易測定法の提案と、本測定法の実用性の検討結果を報告する。

2. 建材からの HCHO 放散量簡易測定システム

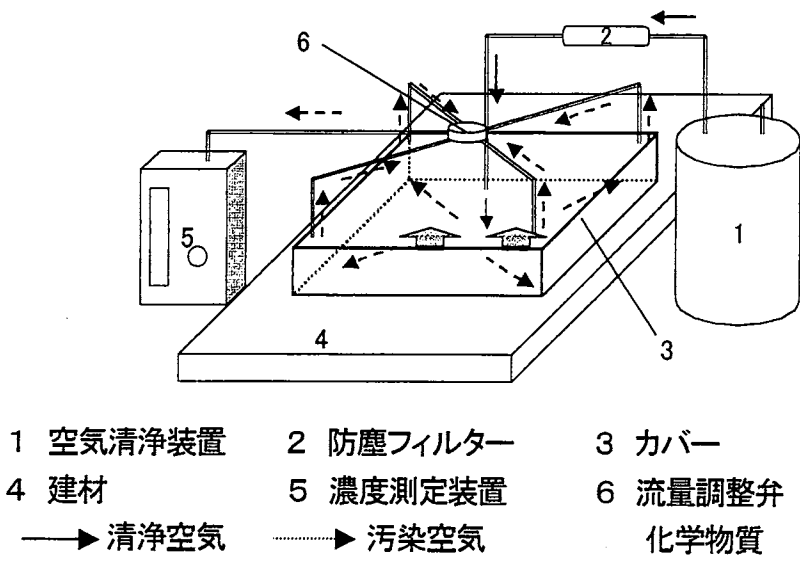


図 4.1 建材からの HCHO 放散量簡易測定システム

2-1 建材からの HCHO 放散量簡易測定システム

基本的な構成を図 4.1 に示す。

本測定システムでは、外部空気又は室内空気をテフロンチューブ等で空気清浄装置に通気させて清浄空気として用いる。この清浄空気は、建材に設置されたカバー内で、建材表

面からの化学物質を含む汚染空気となり、濃度測定装置で捕集、分析される。また、濃度測定装置の測定機器を分析対象(VOCsの種類)と測定目的(時間による変化、一定時間の発生量等)によって変更することで、より多種の化学物質に対応可能である。なお、本測定法は、本来簡易法で用いられる測定機器を用いた測定現場での測定分析を目的とするが、濃度測定装置に代えて、吸引ポンプと活性炭やシリカチューブ等の捕集剤を使用することで、従来型の GC/MS や HPLC 等を利用して、精密法で VOCs を定性・定量分析することも可能である。

2-2 空気清浄装置

空気清浄装置は、活性炭とシリカゲル及びフィルターで構成される。活性炭及びシリカゲルを充填する容器は、市販のガラス瓶等を蒸留水や純水などで洗浄して使用する。

容器外部から導入された空気は空気清浄装置上部から入り、上層部から下層部に抜ける。この間に主として不純物は活性炭、水分はシリカゲルに吸収され湿度の低い清浄空気となる。この清浄空気は空気清浄装置から、防塵フィルターを経由してカバー内に給気する。

水分は活性炭の不純物吸着能力を低下させるため、空気清浄装置への活性炭とシリカゲルの充填では、外部からの導入空気が活性炭層よりも先にシリカゲルを通過するように行う。充填量は容器の大きさにもよるがシリカゲル、活性炭の層長がなるべく長くなるように充填する。

充填方法を検討するに当たり、径の違う大小 2 種類の高密度ポリエチレン容器に 100g の活性炭を充填して、層長 75 mm と層長 20 mm の空気清浄装置を作成し、TVOC 濃度計(熱線半導体式, XP339V, 新コスモス)を用いて清浄効果を測定している。

層長 75 mm では TVOC 濃度計の指示値 16 に対して、層長 20 mm では指示値 34 であった。同じ充填量でも層が短い場合は、空気の清浄が不十分となる可能性がある。

また、活性炭の粉塵を除去する防塵フィルターを空気清浄装置の出口、又はカバーとの間に設置する。フィルターの材質はろ紙やグラスウールなど、粉塵を除去できるものであればよいが、分析目的の揮発性有機化合物を放散しない素材を使用する。

2-3 カバー

カバーは、測定対象物から発生した化学物質のガスと清浄空気を混合するため、測定対象物に接着して使用する。また、カバーは測定対象物にシールテープを用いて接着する。

カバーに分析対象の揮発性有機化合物が付着した場合、測定値が実際よりも低くなってしまう可能性があるため、素材は化学物質の付着しにくいものを使用する。カバーの大きさは 50cm×25cm×0.7cm を基準とするが、測定対象物の形状によって変更することも可能である。しかし、この場合は測定値のカバーの大きさによる影響も考えられるため、同じ建築物では可能な限り同じ大きさのカバーを使用したほうがよい。

シールテープは、分析対象である揮発性有機化合物を含まない接着テープを使用し、周囲からカバー内に室内空気が入らないように測定対象物に固定する。

2-4 濃度測定装置

濃度測定装置は主として簡易 AHMT 法や検知管法等、簡易測定法に使用される測定機器で構成され、カバーとはテフロンチューブ等で接続される。

(1) 簡易 AHMT 法⁷⁾

簡易 AHMT 法を濃度測定装置に採用する場合は、発生ガス混合部のカバーから出た汚染空気を、捕集液である水酸化ナトリウム溶液を 2mL 入れた専用試験管、又は比色計の専用セルに 3.2L 通気して、その後 AHMT 溶液、KIO₃ 溶液を添加し比色計にかける。得られた比色計の指示値に係数をかけて濃度を求める。

(2) 検知管法⁷⁾

検知管法を濃度測定装置に採用する場合は、発生ガス混合部のカバーと濃度測定部に室内空気質用の検知管を接続し、専用ポンプで 300mL/min 吸引する。吸引時間は 0.12ppm 以下の場合は 30 分吸引し、検知管の着色層の読み取り値に温度補正係数をかけて濃度を求める。0.12ppm 以上であれば 10 分間吸引し、読み取った値に温度補正をかけた後に係数をかけて求める。着色層が薄い部分と濃い部分がある場合は、濃い部分を読み取ることで、妨害ガスの比率が高い場合を除いて、ある程度妨害ガスの影響を回避できる⁸⁾。

空気の流量、吸引量は、使用する測定機器の標準的量とするが、測定機器の吸引量が多すぎて、測定部のカバー内が極端な負圧となるような場合は、流量調整弁で空気の吸引量を調整するか、清浄空気を供給しやすいようにエアポンプなどを用いて調整する。ただし、吸引量の調整による影響を事前又は事後に確認しておいたほうがよい。

濃度測定を通常より厳密に行う場合は、空気清浄装置に濃度測定装置を直結し、空気清浄後の濃度を測定して空気清浄装置の清浄能力を確認後、カバーをアルミ板等、HCHO や VOCs を放散しない素材に接着固定して、通常のシステム構成で汚染源や汚染空気のない状態のブランク値を測定しておく。この時、ブランク値が高すぎると考えられる場合は、空気清浄装置の活性炭及びシリカゲル交換の必要や、カバー又はアルミ板等への化学物質付着による汚染の可能性があるため注意を要する。

3. 本簡易測定法の実用性の検討

本簡易測定法の実用性を検討するため、測定値の正確さ、測定精度、カバーの大きさや給気不足・過剰、さらに測定機の違いによる影響を、HCHO を対象に測定した。

表 4.1 に測定値の放散速度への換算式及びデシケータ値の放散速度への換算式を記す。

測定濃度の放散速度への換算は式(1)⁹⁾、デシケータ値の放散速度への換算は式(2)¹⁰⁾をそれぞれ用いた。ただし、デシケータ値の放散速度への換算は、デシケータでの測定は建材全面からの放散であるため、建材の表裏で放散が大きく違うような場合は、式(2)では想定されていない¹⁸⁾。このため、測定対象によっては、本システムの測定値をデシケータ値と比較する場合に注意を要する。

表 4.1 測定値の放散速度への換算式、及びデシケータ値の放散速度への換算式

$EF = \frac{(C - Co) \times Q}{A} \quad \dots (1)$	
EF: 放散速度 [mg/m ² h] C: 測定濃度 [mg/m ³] Co: ブランク値 [mg/m ³] Q: 換気量 [m ³ /h] A: 表面積 [m ²] ここで $Q = v \times 60$ v: 吸引量 [m ³ /min]	
$EF = (0.158 \times \frac{D}{6} + 0.017) \times 1.09^{(t-23)} \times \frac{55+h}{100} \times \frac{30.03}{22.4} \times \frac{273}{273+t} \quad \dots (2) \text{注}$	
EF: 放散速度 [mg/m ² h] D: デシケータ値 [mg/l] h: 相対湿度 [%RH] t: 温度 [°C]	
注) 以下の木質建材分科会の検討による。 1. 合板からのホルムアルデヒド放散量は製造後 2-3 週間で 1/3 になる。 2. 放散は室内側からのみとする。 3. 換気回数 N=1 (1/h), 合板設置率 n=1 (m ² /m ³)	

表 4.2 簡易測定法システム構成及び測定対象物

測定機	SILSET	島津製作所
測定原理	簡易 AHMT 法	
空気清浄部	活性炭 200 g	
	シリカゲル 10 g	
カバー	アルミニウム製	
	L24×W16.5×H2 (cm)	
シールテープ	梱包用布テープ	
比色計	モデル 530	SILSET 専用機
測定対象物	ラワン合板 (F ₂) 4mm, 12mm	
	購入 1 日	
	製造後経過日数不明	

3-1 測定値の正確さ

本来測定値の正確さとは、真の値にどれだけ近いかということであるが、通常、住宅を建築する場合に、使用する建材を実際に測定することは稀で、表示される合板規格によって決定されることが多い。

そこで、JAS 合板規格のデシケータ値(D 値)を放散速度に換算して、本簡易測定法の実測値と比較した。また、用途が同じである FLEC システムを用いた田辺らの既報の測定値

表 4.3 本簡易測定システム測定結果と文献値

	12mm厚 ラワン合板	4mm厚 ラワン合板
FLEC ¹¹⁾	0.48	0.34
D値換算	0.19	0.19
本測定法	0.25	0.35

単位: $\text{mg}/\text{m}^2\text{h}$ D 値は JAS 規格 F_2

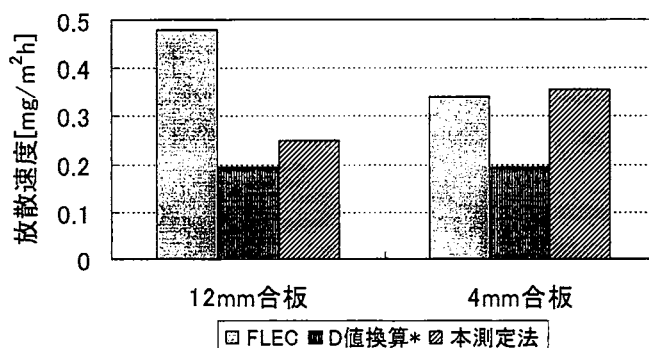


図 4.2 D 値との比較グラフ

¹¹⁾とも併せて比較した。

表 4.2 に、比較のための測定に使用した本簡易測定システムの構成と測定対象物を示す。表 4.3 及び図 4.2 に測定結果と文献値を示す。測定値は、1 試料につき比色計の読み取りを 5 回行い、最高値と最低値を除く残り 3 回の平均値としている。温度は 23°C として換算した。デシケータ値は、全面からの放散量であるため板厚による違いが無いいため、12mm 厚ラワン合板、4mm 厚ラワン合板とも換算放散速度は約 $0.19\text{mg}/\text{m}^2\text{h}$ と仮定している。

デシケータ値を基準とした場合、12mm 厚ラワン合板では本簡易測定法は 1.28 倍、FLEC が 0.48 倍、4mm 厚ラワン合板では本簡易測定法は 1.83 倍、FLEC が 1.76 倍である。製造後経過日数と保管状況にもよるが、デシケータ値を基準に考えた場合、FLEC システムの測定値と同程度の正確さを持つといえる。

3-2 測定の再現性

測定の再現性(測定精度)を確認するため、同一の測定対象のホルムアルデヒド放散量について、測定経験の違う 2 名の測定者によって各人 3 回、合計 6 回の測定を行っている。測定対象は 12mm 厚のラワン合板(F_3)で購入から 1 ヶ月以上経過し、製造からの経過日数は不明である。装置構成はシールテープをアルミテープに変更し、カバーはアルミニウム製 $50\text{cm} \times 12\text{cm} \times 0.7\text{cm}$ を使用したほか表 2 と同一である。なおブランク値は測定していない。表 4.4、図 4.3 に測定結果を記す。

1 回から 3 回目までは筆者、4 回目から 6 回目までは、これまで室内空気質などの測定業務を経験したことのない一般の設備業者に測定手順を説明し、簡易 AHMT 法を 2 回練習した後に測定したものである。全体の平均値は 202ppb であり、最大値 211ppb、最小値 198ppb と平均値との誤差は、約 4% から約 2% 程度である。一般の設備業者が行った 4 回目から 6 回目に限定して比較しても、約 4% から約 2% であり、十分な測定の再現性と精度と考えられる。

表 4.4 測定の実現性：測定経験の有無による測定結果の差異

	室温[℃]	湿度[%]	濃度[ppb]	サンプル面積[m ²]	測定経験
ラワン合板1回目測定	23.4	24.8	205	0.01	有り
ラワン合板2回目測定	23.1	23.1	201	0.01	有り
ラワン合板3回目測定	22.7	23.8	198	0.01	有り
ラワン合板4回目測定	23.2	23.5	202	0.01	無し
ラワン合板5回目測定	22.7	22.5	211	0.01	無し
ラワン合板6回目測定	23.4	22.8	199	0.01	無し



図 4.3 測定再現性比較グラフ

3-3 カバーの大きさが測定値に与える影響

測定対象物からの放散を測定する場合に、カバーサイズを変更しなければならないことも予想される。そこで、カバーの大小による濃度及び放散速度の差を確認するため、同じ床板(規格不明)を使用して、3つの容量の違うカバーを作成しHCHO放散量と放散速度を測定している。装置構成はカバーを除いて表2と同一である。表4.5、図4.4はその測定結果である。

濃度によると、Aは107ppb、Bは71ppb、Cは48ppbと最大2倍以上の差がある。しかし、放散速度に換算した場合は、Aが0.009mg/m²h、Bが0.012mg/m²h、Cは0.013mg/m²hと比較的近い値を得ている。室内空気汚染の原因を、厳密な値で特定する必要がある場合以外は特に問題ではない。なお、床板は2年以上倉庫に放置しており、製造後経過日数は不明である。

3-4 給気不足・過剰が測定値に与える影響

吸引量や空気供給量による測定結果への影響を、HCHO濃度の測定によって確認している。給気不足の影響は防塵フィルター直後に流量調整弁を設け、弁の開閉度合い(全開、1/2開、1/4開)で測定し、給気過剰の影響は空気清浄部前にエアポンプを設け、吸引量約150mL/min、給気量約520mL/minで測定した。測定対象は購入後2年以上放置されていた床板(F3、製造後経過日数不明)である。

表4.6、図4.5に結果を示す。装置構成は表4.2と同一である。

表 4.5 カバーサイズによる測定値への影響

カバー寸法[cm]	室温[°C]	濃度[ppb]	放散速度 [mg/m ² h]	サンプル面積[m ²]
A:25×50×0.7	23	107	0.009	0.125
B:12×50×0.7	24	71	0.012	0.06
C:24×16.5×2	24.1	48	0.013	0.0396

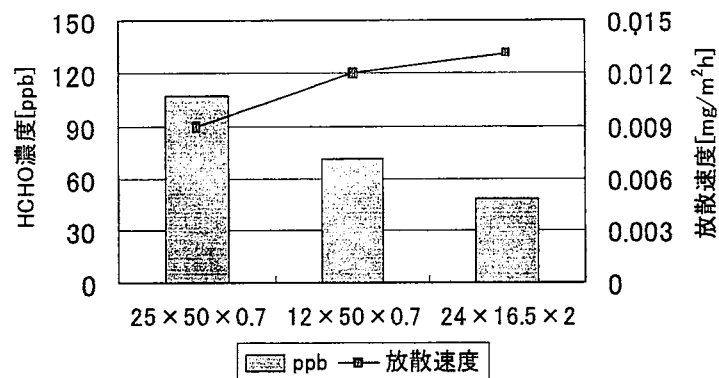


図 4.4 カバーサイズによる測定値の比較グラフ

表 4.6 給気量による影響

	室温[°C]	湿度[%]	濃度[ppb]	サンプル面積[m ²]
全開	24.2	24	34	0.125
1/2開	24.5	24.5	59	0.125
1/4開	24.1	24.9	119	0.125
3.5倍過剰(希釈)	24.3	24.3	11	0.125

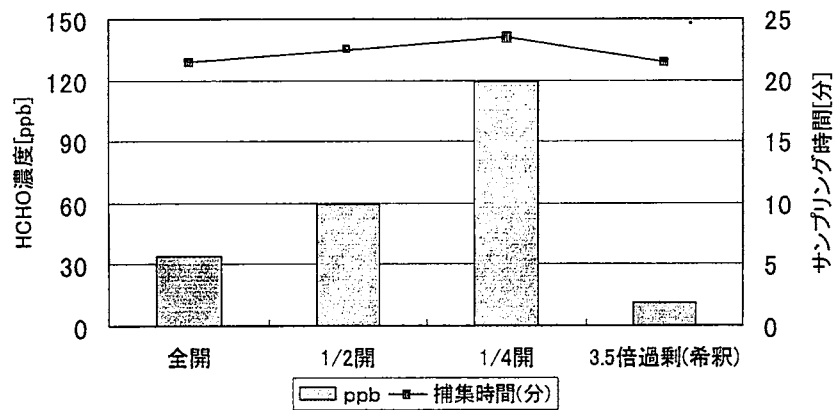


図 4.5 給排気量過不足の影響グラフ

測定された濃度は流量調整弁全開では 34ppb、1/2 開が 59ppb、1/4 開は 119ppb と最大 3.5 倍の格差があり、影響は大きい。

供給過剰では実質的な希釈であって、濃度は 11ppb と流量調整弁全開時の測定濃度と比較して約 1/3 と低い。給気不足・過剰の影響が比較的大きいため、給気量の設定や空気清浄装置の目詰り等による清浄空気の供給不足には注意が必要である。

表 4.7 アパート測定部位

《測定部位》	
床	フローリング合板
DK及び和室側ドア	同材質の合板製
窓、ベランダ側サッシ	アルミ製
壁及び天井	同材質のビニル製壁紙
全て規格不明	

4. 測定例

本測定法を用いて、実際の壁や床等の既築住宅部位及び建材単体からの HCHO 発生量を測定した事例を示す。なお、測定機の違いによる測定値の影響を検討するため、表 4.2 に示した簡易 AHMT 法、及び検知管法の二種類の簡易測定法を用いている。

なお、検知管法では室内空气中 HCHO 測定用検知管 710 番、エアサンプラー S-20 を使用した。検知管法のサンプリングは流量 300mL/min で 30 分間行っている。

4-1 既築アパートの測定

本測定法を用い、建築後・居住後 4 年を経過したアパートの 1 室における室内の HCHO 濃度と、部位からの HCHO 放散量を測定している。

アパート周囲の環境は、近くに幹線道路や工場・廃棄物処理場等、空气の汚染源は無く比較的清浄である。間取りを図 4.6、測定中の写真を図 4.7 から図 4.9 に示す。表 4.7 に測定対象部位の仕様を示す。図 4.7 と図 4.9 は濃度測定部に簡易 AHMT 法を用いたもので、図 4.8 は検知管法によるものである。

測定した場所は洋間リビングで、たんす等大型家具は無く、テーブル、TV、コンピュータがあり、床には購入後 2 年経過した木綿製じゅうたんが敷いてある(敷設率 60%)。冷暖房はエアコンを使用しており、居住者は喫煙しておらず殺虫剤、防虫剤、芳香剤などの使用も無い。

測定は、最初に外側の窓やドアのほか室内の部屋を区切るドア等開口部を全て締めきり、9 時間後に同じ状態でリビング内の HCHO 濃度を測定している。

次に、空気清浄部負荷軽減のため、全ての部屋の開口部を開け 15 分間換気後、再びリビングの HCHO 濃度を測定している。その後、アルミ板を用いブランク値測定の後、順次、和室側のドア、壁紙、床の HCHO 濃度を測定している。測定装置の構成は、濃度測定部に簡易 AHMT 法と検知管法を併用した他、表 2 と同一である。

測定結果を表 4.8 と図 4.10 に示す。

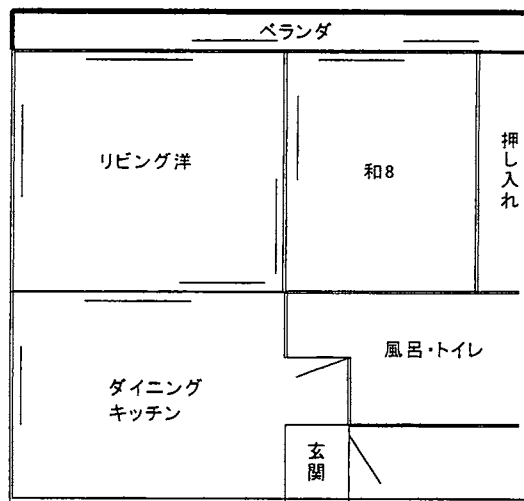


図 4.6 測定部屋間取り

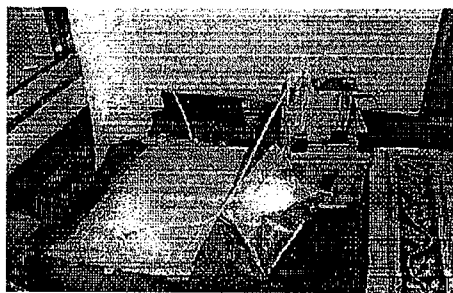


図 4.7 床測定中 (SILSET)

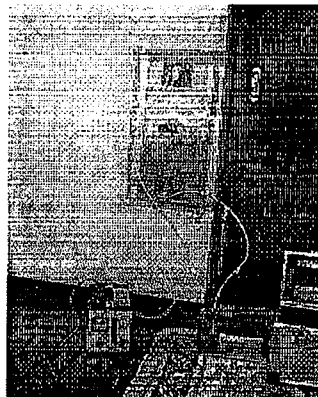


図 4.8 壁測定中 (検知管)

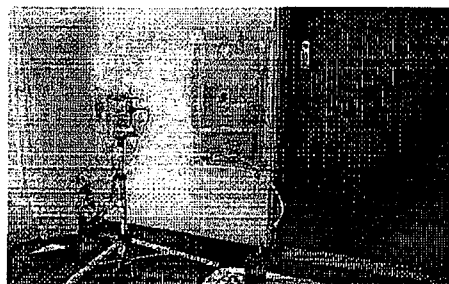


図 4.9 壁測定中 (SILSET)

表 4.8 既築アパート測定結果

部位	室温℃	濃度 ppb	放散速度 mg/m ² h	サンプル 面積m ²	測定法
室内空気(9 時間締切)	27.5	64	—	—	簡易 AHMT
室内空気(換気後)	27.9	12	—	—	簡易 AHMT
ドア	28	93	0.008	0.125	簡易 AHMT
壁	27.8	41	0.004	0.125	簡易 AHMT
床	28.1	87	0.008	0.125	簡易 AHMT
ブランク	27.5	3	—	—	簡易 AHMT
シールテープ	28.4	6	—	0.038	簡易 AHMT
ドア	28.1	98	0.017	0.125	検知管
壁	28.3	53	0.009	0.125	検知管
床	27.8	83	0.015	0.125	検知管

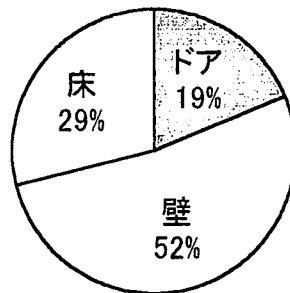


図4.10 各部位の寄与率

室内湿度については、装置通過後は空気清浄装置で水分が除去されるため、各部位からの測定時のデータから除外している。簡易 AHMT 法の測定値では、開口部 9 時間閉鎖後の HCHO 濃度は 64ppb である。全ての開口部を全開し、15 分間換気後の濃度は 12ppb である。また、測定したリビングでのブランク値は 3ppb で、測定した放散量の補正值として差し引いている。

各部位の放散速度は合板ドアが約 0.008mg/m²h、壁からは約 0.004mg/m²h、床からは約 0.008mg/m²h である。放散速度では合板ドアが最も高い値となっている。

図 4.10 は、簡易 AHMT 法で求めた各部位から放散されているホルムアルデヒドによる室内空気質汚染寄与率である。

放散速度と面積から、単純に計算した値が必ずしもそのまま室内空気質汚染濃度として適用できるとは限らないが、概算で求めるならば、ドア、壁、床の表面積はドア約 6m²、壁約 33m²、床約 9m² であり、ホルムアルデヒド放散量と室内濃度寄与率はドアが 0.048mg/h で約 19%、壁が 0.132mg/h で約 52%、床は 0.072mg/h で約 29%となっている。壁からの単位あたりの放散速度は一番少ないが、面積が大きいため寄与率は最も大きくなると推測される。

検知管による測定値は、簡易 AHMT 法に比較して濃度ではほぼ同じであるが、放散速度では約 2 倍高い。これは、吸引量が簡易 AHMT 法では約 150mL/min で約 21 分間吸引するのに対して、検知管法は 300mL/min で 30 分間吸引するためであり、換算式から検討すれば、特に単位時間あたりの吸引量の影響によるものである。

表 4.9 木材からの放散による HCHO 濃度と放散速度

	室温 ℃	濃度 ppb	放散速度 mg/m ² h	サンプル 面積 m ²	測定法
白木板	28	38	0.007	0.06	簡易 AHMT
桐集成材	27.9	36	0.003	0.125	簡易 AHMT
型枠用雑材	27.8	19	0.002	0.125	簡易 AHMT
SPF 材:輸入品	27.2	69	0.013	0.06	簡易 AHMT
4mm ラワン合板	26.8	Over	－	0.06	簡易 AHMT
ブランク	28	4	－	－	簡易 AHMT
シールテープ	28	11	－	0.038	簡易 AHMT
白木板	28.1	76	0.028	0.06	検知管
桐集成材	28	65	0.011	0.125	検知管
ブランク	28	8	－	－	検知管
シールテープ	27.7	19	－	0.038	検知管

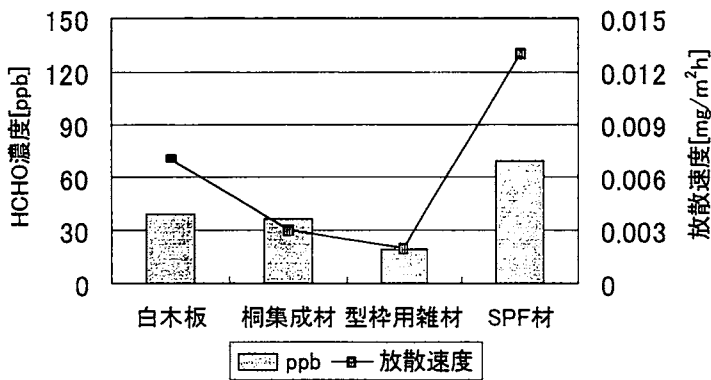


図 4.11 木材からの放散による濃度と放散速度グラフ

この測定結果から、放散速度の絶対値については断言できない。しかし、相対的な室内空気質汚染寄与率を検討して、室内空気質汚染の原因部分を特定することは十分可能であるといえる。

4-2 木材からの放散測定

表 4.9，図 4.11 に測定結果を記す。一般に木材からの HCHO 放散はないと考えられているが、木材からの溶出を報告した事例¹²⁾もある。市販の木材を対象に、本測定法を用いて HCHO の放散の有無を測定している。

測定対象は、桐の集成材、白木板、型枠用雑材(杉)、ラワン合板(F₂)、輸入 SPF 材で、購入からの経過日数は全て 2 日である(製造からの経過日数は不明)。装置構成は前述表 4.1 と同様だが、白木板、SPF 材は測定対象の幅に合わせて、また、ベニヤ板は割れ目の制約から、50cm×12cm×0.7cm のカバーを用いた。シールテープは 3-1、4-1 とは別メーカーの梱包用布テープを使用している。

簡易 AHMT 法を用いた測定では 3・1, 4・1 と比べシールテープの値は 11ppb と高くなったが、ブランク値は 4ppb となり、余り影響は無い。白木板は 38ppb, 桐集成材は 36ppb, 型枠用雑材は 19ppb, 輸入 SPF 材は 69ppb である。ラワン合板では比色計の定量上限を超えたため測定不能で、比色表による目測では 1000ppb 程度か、それ以上となっている。

測定前の予想では、ラワン合板>桐集成材>SPF 材>白木板>型枠用雑材の順にホルムアルデヒドの放散速度を予測したが、測定の結果はラワン合板(比色計の定量上限以上, 1000ppb 以上)>SPF 材(0.013mg/m²h)>白木板(0.007mg/m²h)>桐集成材(0.003mg/m²h)>型枠用雑材(0.002mg/m²h)の順となった。輸入 SPF 材は合板ではないが放散速度が比較的高く出たのは、輸送にあたって防腐措置などがとられていたためと推測される。

検知管による測定では、前述 4・1 と比較しても高い数値となった。4・1 は築後 4 年以上経過しているが、この測定対象物は比較的新しく、妨害ガスを多く含むためと考えられる。

検知管での高めの不一致は、前述のごとく、検知管変色層の濃色な部分までの数値を読み取ることで、改善が可能⁸⁾と思われる。また、濃度、放散速度とも簡易 AHMT 法と検知管法では相関性が認められ、相対的判断には十分利用できる。

5. 本章のまとめ

本章では、住宅等室内における部材からの HCHO など、室内空気汚染原因となる揮発性有機化合物の放散量、及び放散速度の簡易な測定法を提案し、実用性を検討した。装置の設置や扱いは容易であり、測定者の熟練度や濃度測定部に用いる測定機器の種類にもよるが、測定精度も比較的良好といえる。

測定現場での室内空気汚染の原因となっている部位が、どの部位であるかは前述 4・1 から 4・2 の測定例のように、特定可能である。一方、測定値の正確さについては現時点では、得られた測定値が測定部位の絶対値とは限らない。しかし、住宅やオフィス等での室内空気質汚染において、速やかな汚染低減対策が必要とされる場合は、迅速な汚染源の特定が必要と考えられるため、相対的に汚染への寄与が強い部位を特定できる本簡易測定法は、十分実用性を持つといえる。

【参考文献】

- 1)小田島博:化学物質による健康影響, VOC ホルムアルデヒド等の化学物質による室内空気汚染問題, 1998 年度日本建築学会(九州)環境工学部門研究協議会資料, pp.10~12, 1998.9
- 2)安部恵子ほか3名:室内汚染とアレルギー, 井上書院, p.40, 1999.9
- 3)柳沢幸雄:日常の生活状態における人体に対する化学物質汚染負荷量の調査, 「化学物質による室内空気質汚染の現状と対策」日本建築学会室内化学物質空気汚染調査研究委員会, pp.13~18, 1999.7
- 4)野田耕右, 石原修:オフィス内における HCHO 汚染の空調機などによる緩和効果, 環境の管理第 11 回研究発表会特集 No23, pp.25~28, 1998.12
- 5)大沢元毅ほか3名:健康的な居住環境技術の開発 第 2 報 室内空気質(ホルムアルデヒド)調査結果, 日本建築学会(1999 年度中国)学術講演梗概集, pp.741~742, 1999.9
- 6)熊谷一清ほか5名:住宅における化学物質汚染に関する実態調査-その 3 ホルムアルデヒド濃度の実態調査, 日本建築学会(1999 年度中国)学術講演梗概集, pp.767~768, 1999.9
- 7)堀雅宏:室内空気質の測定評価の考え方と実施方法, 「第 1 回室内空気質計測シンポジウム資料」人間・生活環境系会議, pp.18~24, 1998.6
- 8)堀雅宏:室内空気環境と科学物質の現場測定方法, 建築設備と配管工事 Vol.37.No.8, 日本工業出版, pp.6~10, 1998.8
- 9)岩下剛:建材からの揮発性有機化合物発生量の算定法に関する研究, 空気調和衛生工学会論文集, pp.593~596, 1998.8
- 10)田辺新一ほか6名:新築集合住宅の IAQ 実測と使用権座員からの科学物質放散速度の測定, 空気調和衛生工学会論文集, pp.57~60, 1999.9
- 11)田辺新一ほか4名:FLEC を用いた建材からのアルデヒド類発生量の測定, 空気調和衛生工学会論文集, pp.597~600, 1998.8
- 12)井上, 林:割り箸からのホルムアルデヒドとその安全性, 木材工業 Vol.1.50, No.2, pp.79~82, 1995
- 13)(財)ビル管理教育センター編:平成 8 年度快適な暮らしのスタイル開発促進事業, pp.117~124, 1997.3
- 14)堀雅宏他2名:室内環境空気中低濃度ホルムアルデヒドの妨害ガス除去/検知管法による定量, BUNSEKI KAGAKU Vol.47 No7, pp.405~410, 1998
- 15)大野貴久, 吉野弥明:木質材料から放散されるホルムアルデヒド放散量測定方法の検討, 日本建築学会(1999 年度中国)学術講演梗概集, pp.813~814, 1999.9
- 16)堀雅宏:室内環境中ホルムアルデヒドの長時間平均濃度の現場測定方法と開発, 日本建築学会(1999 年度中国)学術講演梗概集, pp.815~816, 1999.9
- 17)舟木理香他3名:建材からのアルデヒド類放散量の測定方法に関する基礎的研究, 空気調和・衛生工学会学術講演会公演論文集, pp.589~592, 1998.8
- 18)井上明生:ホルムアルデヒド気中濃度のガイドライン対策, 木材工業, Vol.52, No.1, 1997

第5章

建材レベルでのベイクアウトによる 化学物質放散量低減の検討

1. 本章の目的

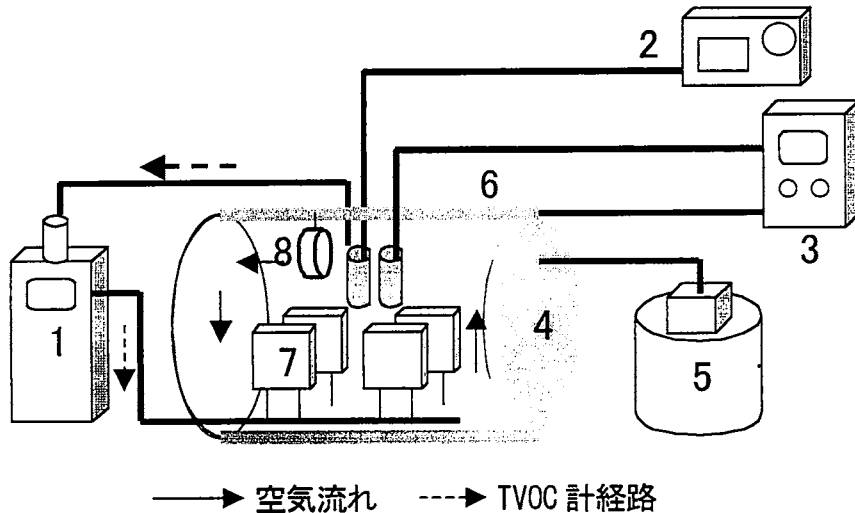
化学物質による室内空気質汚染対策は、汚染濃度や発生源を特定したとしてもそれだけでは十分ではない。3章で述べたように、住宅内の室内空気質の化学物質低減措置が必要である。そのためには、発生源である建材などの VOCs の低減・除去による、室内空気質の改善が考えられる。

低減・除去法として換気扇や窓の開放による換気、空気清浄機の使用、低 VOCs 仕様の建材によるリフォームやベイクアウトが考えられる。

空気清浄機には多くの種類があるが、除去・分解可能な成分に対する軽減・除去であるため、対応範囲に限界があり、また、空気中に放散された化学物質の除去であって、建材等に含有される化学物質を直接低減するものではないため、恒常的な使用が必要となる。低 VOCs 仕様の建材による室内空気質改善のためのリフォームもあるが、経済的に負担が大きく、不適切な改装がなされた場合は、かえって汚染がひどくなる可能性も考えられる。一方、ベイクアウトは室内の温度をある一定期間、一時的に上昇させて、室内の建材や家具などの VOCs や HCHO の放散を促して、平常時の発生量を緩和させるものである¹⁾。ベイクアウトでは VOCs や HCHO の発生そのものを低くするため、より根本的な対処であるといえよう。また、すでに居住者のいる建築物の場合にも比較的短期間で終了するため、居住者に生活上の制限をきたすことも少ないと考えられる。以上のように、ベイクアウトは、建材等に含有される化学物質を現状で直接的に低減・除去できる利点がある。

ところで、我が国の室内空気質関連報告数は、1999 年と 2000 年の日本建築学会大会及び論文集と室内環境学会総会、1998 年と 1999 年の空気調和衛生工学会学術講演会、1998 年から 2000 年の日本環境管理学会研究発表会の合計で 285 件である。この内、ベイクアウトに対する研究報告は 15 件である。測定法・予測法や実測例の報告数に比較すると件数は少ないが、例えば野崎らによるベイクアウトの評価法と竣工後 3~4 ヶ月の集合住宅でのベイクアウト結果の報告²⁾や、人工気象室内で 65 L チャンバーを用いた建材の部材レベルでのベイクアウト実験に関するもの²⁾³⁾、小竿らの HCHO 濃度の制御に関するもの⁴⁾⁵⁾⁶⁾等評価法や効果についての定量的な検討がなされている¹⁾ⁱⁱ⁾ⁱⁱⁱ⁾⁷⁾⁸⁾。

本章では、室内空気質汚染低減方法としてベイクアウトに着目している。ベイクアウト後の経過時間による化学物質放散量の減衰状況や、換気の影響、さらには、未だなされていない建材内部の化学物質含有量への影響の把握も含めて、ベイクアウト効果の総合的把握を目的としている。試験片用の小型ベイクアウト装置と放散量測定装置を作製し、建材レベルでベイクアウト実験を行い、HCHO、TVOC の低減効果について検討を行った結果について報告する。



- ①PID-TVOC 計 (RAE 製, PLUS RAE)
- ②温度湿度計 (SATO 製, SKL200TH)
- ③温度調節器 (HAKKO 製, FINE THERMO)
- ④ベイクアウト室 (スチール製約 28.4L 室温調節～60℃)
- ⑤空気清浄装置 (活性炭, シリカゲル充填)
- ⑥ラバーヒーター
- ⑦試験片 (最大 4 個まで同時装着可能)
- ⑧マイクロファン (最大風量 10L/min)

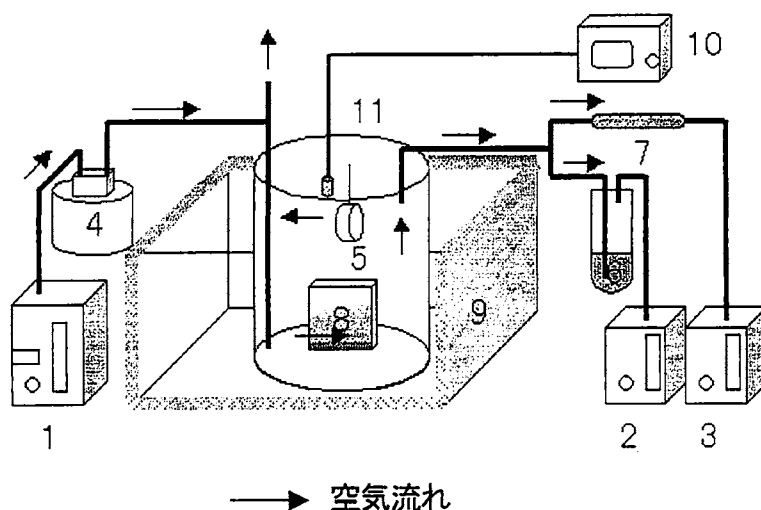
図 5.1 小型ベイクアウト装置概略図

2. 実験概要と試験装置及び分析機器

2-1 実験概要

本章の研究は以下の 5 つの実験から成る。

- (1) ベイクアウト後のホルムアルデヒド放散量経時変化
ベイクアウト時間と、ホルムアルデヒド低減効果の関係の把握を目的とする実験。
- (2) 建材材質の相違による TVOC 放散状況の比較
材質による化学物質放散状況の違いの確認を目的とする実験。
- (3) 建材中ホルムアルデヒド含有量の減衰
ベイクアウト時間の相違が、建材内部の化学物質含有量減衰に及ぼす影響の把握を目的とする実験。
- (4) 複数建材種の同時ベイクアウト
材質の異なる建材を同時にベイクアウトした場合の、化学物質放散に対する建材間の影響を把握する実験。
- (5) 換気回数とホルムアルデヒドの自然減衰の関係
保管状況による化学物質放散量の差異を把握する実験。



- 空気流れ
- ①小型コンプレッサ (NISSO 製, α 3000)
 - ②エアサンプラ (SIMAZU 製, SILSET 用)
 - ③エアサンプラ (KOUMYOU 製, S20)
 - ④空気清浄装置
 - ⑤マイクロファン (10L/min)
 - ⑥吸収液入試験管 (ホルムアルデヒド測定, AHMT 法)
 - ⑦活性炭吸着管 (SIBATA 製, 単層式×2 本)
 - ⑧試験片 (最大 2 枚装着可能)
 - ⑨恒温槽 (IUCHI, EA 1)
 - ⑩温度湿度計 (SATO 製, SKL200TH)
 - ⑪ガラスチャンバー (4L)

図 5.2 放散量測定装置

2-2 小型ベイクアウト試験装置

図 5.1 に本研究における基本的な小型ベイクアウト試験装置の構成概略図を示す。TVOC 計には Photo Ionization Detector (PID) 式を採用した^{注1)}。各部の接続材の材質はテフロン又はアルミを用いた。

ベイクアウト室は、ヒーターで加熱することにより室温 25℃のとき最大で約 60℃に保つことが可能である。ベイクアウト室内の空気は、マイクロファンで濃度が均一になるように攪拌している。マイクロファンの風量は 10L/min と多すぎたため、周囲をアルミで囲い緩やかに攪拌するように工夫している。本装置には調湿装置は付加されていないため、ベイクアウト室内の湿度は操作できないが、装置内に導入される空気は空気清浄装置を通過しているためほぼ一定の湿度であり、外気の湿度変化の影響は少ない^{注2)}。

本試験装置では装置内雰囲気ガスとして、ヘリウム、窒素、二酸化炭素、清浄空気等が使用可能である。本章の実験では、活性炭とシリカゲルを用いた空気清浄装置により清浄化した空気を使用した。本空気清浄装置に通すことで、室温 24℃で HCHO 濃度 0.059mg/m³(AHMT 法により測定)の室内空気が、通過後約 0.006mg/m³まで低下することを確認している。

表 5.1 GC/FID 分析条件

GC : GC-14B	検出器 : FID
キャピラリーカラム : DB-1	60m×0.25mm
気化室温度 : 250℃	検出器温度 : 250℃
昇温プログラム : 40℃ (1min) ~10℃/min	
100℃ (1min) ~3℃/min	
180℃ (1min) ~10℃/min	
220℃ (10min)	
キャリアガス : He	試料導入 : スプリット

ベイクアウトを無換気で行う場合、TVOC 計で測定後の空気は再びベイクアウト室内に戻る。換気状態で行う場合、TVOC 計の測定後の空気は TVOC 計の排出口から系外へ排出され、空気清浄装置から一定量の清浄空気がベイクアウト室内に導入される。

無換気の実験では、最初に試験片をベイクアウト室内に設置して、空気清浄装置の清浄空気を 90L 通気した後に空気清浄装置を停止し、TVOC 計の測定を開始している。

2-3 放散量測定装置

放散量測定装置の概略を図 5.2 に示す。HCHO を対象とした測定では、キャリアガスとして空気清浄装置を通過した清浄空気を用いた(前節と同一)。VOCs を対象とした測定では、キャリアガスに窒素ガスを用いた。

エアサンプラーの流量は、HCHO 採取時が 170mL/min、VOCs 採取時が 500mL/min である。試験片はガラスチャンバー底部ほぼ中央付近に設置し、ガラスチャンバー内の空気はカバー付きマイクロファンによって攪拌した。また、放散量測定時における恒温槽の温度設定は 26℃で行った。恒温槽内におかれたガラスチャンバー内の温度は平均 25℃ (最高 26.1℃, 最低 24.2℃) であった。

2-4 分析法と試験片の作製

<HCHO の分析>

HCHO の分析には簡易型の液体吸収-AHMT(4-アミノ-3-ヒトラジノ-5-メルカプト-1,2,4 トリアゾール)法を用いた。2 規定の NaOH 溶液 2mL を試験管に入れて、約 3.2L 捕集した後、AHMT 液を加えて攪拌し、20 分間放置後に KIO₃ 液を添加して、吸光光度計の数値に係数をかけることで、HCHO の濃度を求めた。

なお、放散量 [mg/m²h] は以下の式¹⁵⁾による。

$$EF = (C - C_0) \times Q \div A \quad \cdots (1)$$

EF : 単位面積当たりの放散量 [mg/m²h]

C : 測定濃度 [mg/m³] C₀ : 外気濃度 [mg/m³]

Q : 換気量 [m³/h] A : 試験片表面積 [m²]

<TVOC の分析>

GC/FID の分析条件を表 5.1 に示す。

VOCs の分析には固層吸着・溶媒抽出・GC/FID 法を用いた。活性炭吸着管に 500mL/min で 60 分間通気した。その後、活性炭を 2mL バイアル瓶に移し、1mL の二硫化炭素を入れて 3 分間振とうして 3 時間放置後、マイクロシリンジで 2μL を GC/FID に注入した。得られたクロマトグラムのピークエリアの単純合計から測定前にあらかじめ求めたブランク値を差引いてトルエン換算した値を TVOC 濃度とし、(1)式を用いて放散量を求めた。また、放散が多いと考えられるラワン合板及び建材に壁紙を貼り付けた試験片の VOCs 採取時は、活性炭吸着管を 2 本連結して使用した。ただし分析した結果、吸入方向からみて後方の活性炭吸着管からは化学物質は検出されず、破過はなかった。

<ベイクアウト中の TVOC の分析>

ベイクアウト実験中のベイクアウト室内の TVOC 分析には PID-TVOC 計を用いた。PID-TVOC 計は測定成分非破壊型であるため、装置の吸排気の前後において空気中成分の変化が少ないと考えられ、密閉容器内の濃度変動の測定に適している^{注1)}。TVOC 計の空気吸引排出による循環量は約 270mL/min である。また、濃度として各時間帯で指示される値は、1 サンプリング周期 600 秒中の平均値である。

<試験片の作製>

本報に含まれる 5 つの実験において、同一実験で比較する試験片は、全て 1 枚の同じ部材から合板用及び木工用糸鋸で切り出して作製した。部材の周辺部は使用していない。ただし、試験片を切り出した原材の製造からの経過日数や在庫時の保管状況など、購入前の履歴は不明である。従って、異なる実験間では同一材質の試験片でも、測定値自体の単純な比較はできない。

3. 単独建材種のベイクアウト実験

表 5.2 システム構成と試験片

ベイクアウト室：スチール製、約 28.4L
ラバーヒータ、保温加工
測定部容器：スチール製、約 5.8L
温度調節器：HAKKO 製、Fine Thermo、0~100℃
測定法：簡易 AHMT 法(SIMAZU 製、SILSET)
温湿度計：SATO 製、SK-L200TH
各部接続材材質：テフロン又はアルミ
設定温度：40℃
試験片：ラワン 4、ラワン 12 (F ₂)
各 10cm×10cm 製造経過日数不明
側面、裏面をアルミテープでシール

3-1 ベイクアウト後のホルムアルデヒド放散量経時変化

表 5.2 にシステム構成と試験片の試験条件を示す。なお、本実験ではベイクアウト室の容量は約 28.4L で、湿度は測定していない。

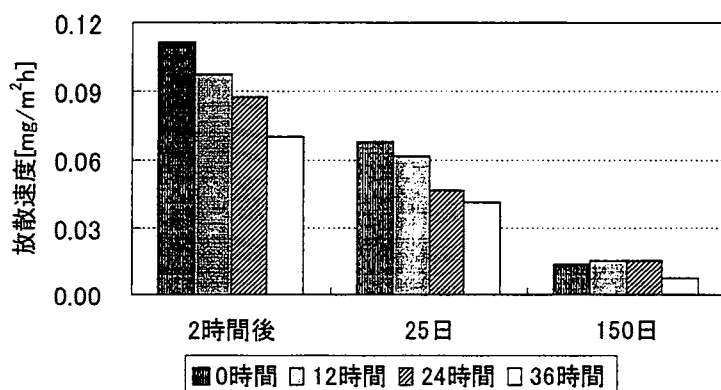


図 5.3 バイクアウト後のHCHO放散量経時変化
(ラワン 12)

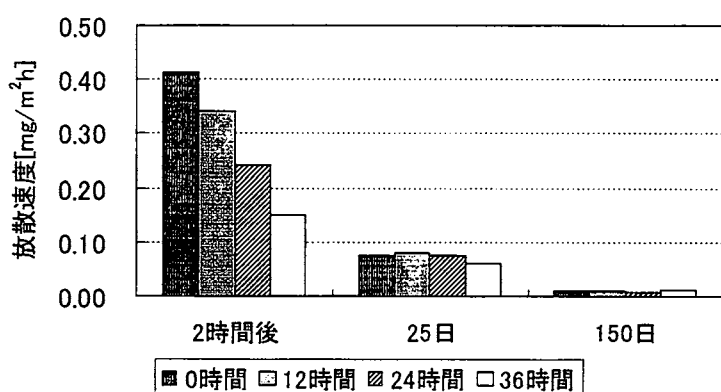


図 5.4 バイクアウト後のHCHO放散量経時変化
(ラワン 4)

試験片は、他の建材に比較してHCHOの放散量が多いと考えられるラワン合板($t=4\text{mm}$, 以下ラワン 4)及びラワン合板($t=12\text{mm}$, 以下ラワン 12)を用いた。

実験を開始したのは、ラワン 4 が購入から 3 日後で、ラワン 12 が購入から 5 日後である。製造からの経過日数はラワン 4、ラワン 12 とともに不明であった。建築物に使用された建材は通常片側だけが露出する。これを再現するため、試験片は表面以外の裏面及び側面をアルミテープでシールした。

バイクアウトは、試験片相互の影響を防止するため試験片毎個別に行った。バイクアウト時間は 0 時間（バイクアウト無し）、12 時間、24 時間、36 時間とした。装置内の換気は自然換気で行ったが、換気量や換気回数は流量計の下限（ 10mL/min ）以下であったため測定できなかった。試験片無しで装置内が 40°C になるまで加熱して、その後速やかに試験片を装置内にセットした。装置自体の HCHO のブランク値は測定していない（バイクアウト装置自体には、HCHO 発生源となるような材質は全く使用されていたため、放散量測定には影響しないと考えられる）。

放散量は、バイクアウト後 2 時間後、購入から 25 日後、購入から 150 日後に簡易 AHMT 法により測定した。バイクアウト後の試験片は、相互の影響や HCHO 再吸着を避け、清浄空気の室内に直射日光を避けて離れた位置に保管した。バイクアウト後の測定は、表面に吸着した HCHO の影響を避けるため、バイクアウト装置から取り出して直ちに 10 分間

送風機でフラッシングした。測定はベイクアウト時間が長いものから順に測定したが、測定対象の試験片数 4 個に対して測定装置が 2 セットであるため、試験片を全て同時に測定することができない。そのため最初に測定した試験片と最後に測定した試験片では、ベイクアウト終了時点からの測定終了までの時間には約 40 分の差がある。

図 5.3 にラワン 12、図 5.4 にラワン 4 の測定結果を示す。放散量測定装置のブランク値は約 $0.005\text{mg/m}^2\text{h}$ で、測定濃度に修正を加えた。

ラワン 12 の場合ベイクアウト時間で比較すると、ホルムアルデヒドの放散量はベイクアウト 2 時間後ではベイクアウト無しの約 $0.111\text{mg/m}^2\text{h}$ に対して、ベイクアウト 12 時間では約 $0.098\text{mg/m}^2\text{h}$ 、24 時間では約 $0.088\text{mg/m}^2\text{h}$ 、36 時間では約 $0.07\text{mg/m}^2\text{h}$ と時間が長いほど減衰が認められた。

ラワン 4 ではベイクアウト無しが約 $0.413\text{mg/m}^2\text{h}$ 、12 時間が約 $0.339\text{mg/m}^2\text{h}$ 、24 時間で約 $0.24\text{mg/m}^2\text{h}$ 、36 時間は約 $0.15\text{mg/m}^2\text{h}$ となり、ラワン 12 よりもさらにホルムアルデヒドの減衰がみられた。

ベイクアウト試験後の経過日数による推移では、ラワン 12 の場合、購入から 25 日後（ベイクアウト後 20 日後）の放散量はベイクアウト無しと 12 時間の $0.065\text{mg/m}^2\text{h}$ 前後に対して、24 時間が約 $0.046\text{mg/m}^2\text{h}$ 、36 時間では約 $0.041\text{mg/m}^2\text{h}$ とベイクアウト時間 24 時間以上での減衰が大きい。購入から 150 日後（ベイクアウト後 145 日後）ではベイクアウト 24 時間以下は全て約 $0.015\text{mg/m}^2\text{h}$ 程度、36 時間のみが約 $0.008\text{mg/m}^2\text{h}$ と低い値であった。

ラワン 4 の場合、購入から 25 日後（ベイクアウト後 22 日後）ではベイクアウト 24 時間以下が約 $0.08\text{mg/m}^2\text{h}$ 程度であるが、36 時間は約 $0.06\text{mg/m}^2\text{h}$ と低い値であった。150 日後（ベイクアウト後 147 日後）では全ての場合で $0.013\text{mg/m}^2\text{h}$ 以下となり、ベイクアウト時間による差はほとんど無かった。

以上の結果から、全ての建材に適応できるとは断言できないが、ベイクアウトの時間は長いほど効果が見込め、少なくとも 24 時間以上のベイクアウトが有効と考えられる。

表 5.3 試験片と実験条件

試験片・ラワン合板 (t=12mm, 以下ラワン12)購入から 2 週間, F ₂
・床板 (t=12mm), 購入から 5 日, F ₁
・壁紙+ラワン (ラワン 12 に壁紙を貼ったもの)
壁紙はビニル製,
製作 4 時間後, 接着剤 K 社 G10 を 1 g 使用
・壁紙+石膏 (石膏ボードに壁紙を張ったもの)
製作 16 日後 (作製 4 時間後にアルミホイルで包み
室温 16°C~19°Cで保管)
接着剤 K 社 G10 を 1 g 使用
試験片の大きさ : 10cm×10cm, 側面・裏面をアルミでシール
試験条件 : ベイクアウトの設定温度 40°C

3-2 建材材質の相違による TVOC 放散状況の比較

表 5.3 に試験片と試験条件を示す。図 5.5～図 5.8 に床板, ラワン 12, 壁紙+石膏, 壁紙+ラワンの測定結果を示す。

建材の材質による VOCs の放散状況の相違を, ベイクアウト試験装置と PID-TVOC 計によって確認した。試験片はラワン 12, 床板, ラワン 12 に壁紙を貼ったもの(以下, 壁紙+ラワン), 石膏ボードに壁紙を張ったもの(以下, 壁紙+石膏)で, 側面と裏面はアルミテープでシールした。

ベイクアウト温度設定は 40°C で, ベイクアウト室内の平均温度は 39.5°C (最高 41.3°C, 最低 38.2°C) であった。ベイクアウト試験は試験片毎に行い, ベイクアウト室が 40°C になった後, 試験片をベイクアウト室に入れて直ちに TVOC 計による連続測定を開始した。測定は濃度減衰が比較的落ち着くか, 濃度が 0 を示すまで行った。

図 5.5 の床板は試験開始後 1 時間で最高 1.44mg/m³ になり, その後は減少して 16.5 時間後には検知限界以下となった。

図 5.6 のラワン 12 は試験開始 2 時間後に最高の 6.10mg/m³ となり, その後は下降に転じ, 19 時間後には緩やかに減衰した。

図 5.7 の壁紙+石膏は濃度がピークをすぎた後 3.50mg/m³ 付近で推移したが, 試験開始後 16 時間で急速に濃度が低下した。

図 5.8 の壁紙+ラワンは試験開始直後にピークの 148.9mg/m³ となり, 以後は急速に濃度は低下した。

何れの試験片もベイクアウト初期において放散量が多く, 時間の経過により放散量が少なくなる傾向を示した。特に加工後間もない壁紙+ラワンではこの傾向は著しかった^{注 3)}。これは, 表面及び比較的表面に近い部分では未乾燥接着剤の放散が早いものに対して, 建材内部では放散が内部拡散に支配されるので, VOCs の移動が遅いためと考えられる⁸⁾。

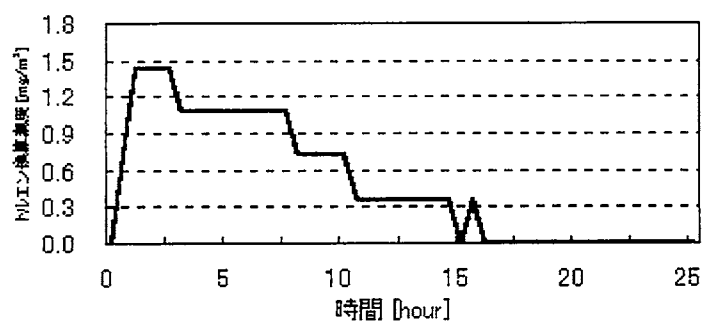


図 5.5 ベイクアウト室内のTVOC濃度推移(床板)

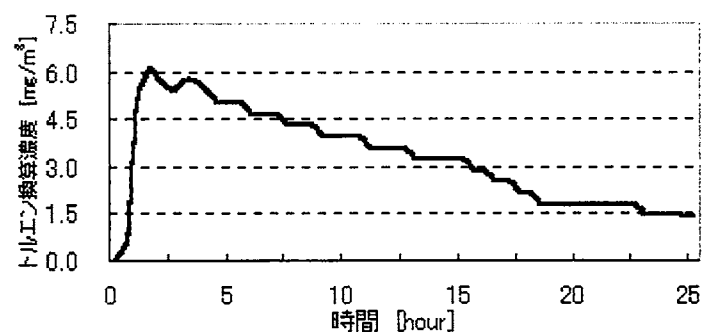


図 5.6 ベイクアウト室内のTVOC濃度推移(ラワン12)

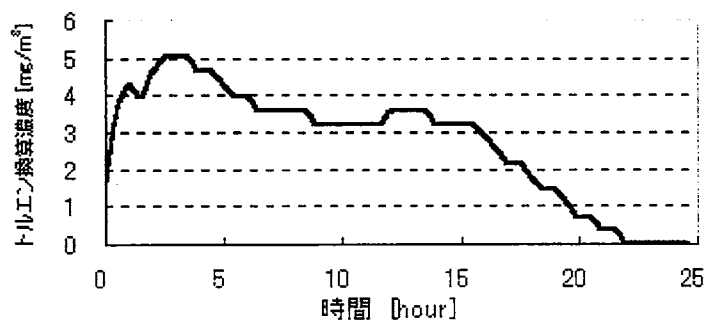


図 5.7 ベイクアウト室内のTVOC濃度推移(壁紙+石膏)

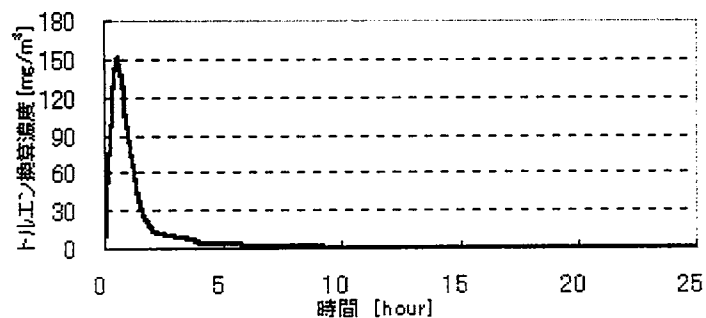


図 5.8 ベイクアウト室内のTVOC濃度推移(壁紙+ラワン)

表 5.4 試験片と実験条件

試験片	<ul style="list-style-type: none"> ・ バイクアウト後 24 時間の試験片 ラワン合板 ($t=12\text{mm}$, 以下ラワン 12), 購入から 4 日後, F_1 床板 ($t=12\text{mm}$), F_1, 購入から 4 日後 ・ バイクアウト後 10 ヶ月の試験片 ラワン 12, 購入から 10 ヶ月以上, F_2 本研究の 3.1 節に使用した試験片 ・ バイクアウト無しの試験片 ラワン 12, 購入から 4 日後, F_1 床板 ($t=12$), 購入から 4 日後, F_1 ラワン 12, 購入から 10 ヶ月以上, F_2
測定条件	恒温槽温度設定 26°C チャンバー内平均温度 25.2°C チャンバー内平均湿度 24.3%

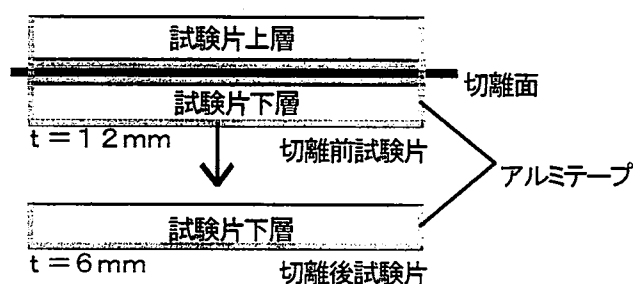


図 5.9 再加工試験片の断面図

3-3 建材中 HCHO 含有量の減衰

表 5.4 に試験片と測定条件を、図 5.9 に試験片の再加工断面図を示す。

建材表面から HCHO や VOCs の放散は、気温や湿度といった外部条件のほか、建材に含まれる化学物質の量も密接に関係していると考えられる。そこで、試験片内部の含有量への減衰効果を検討した。減衰効果を精密に行うためには、試験片に含有する HCHO の絶対量の測定が必要である。しかし、所有の装備では困難であったため、3-1 節の試験片及び新たにバイクアウトを行ったラワン 12、及び床板の試験片を再加工して、試験片内部を露出させて放散量を測定し、含有量減衰効果の検討を行った。

再加工は試験片を万力に固定して、木工用カッター鋸で板厚のほぼ中央で 2 等分に分割して上層と下層に切離し、内部であった部分を露出させて、他の面をアルミテープでシールした。

再加工後の表面からの自然放散の影響を最小限にするため、測定は再加工後 5 分以内に行った。試験片の再加工までの保管は、各試験片とも清浄な空気の室内で特に温度湿度の調整を行わずに保管した。

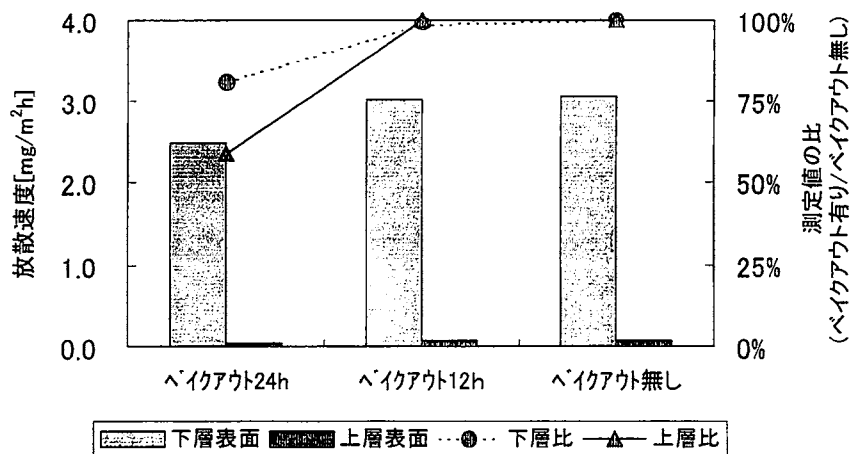


図 5.10 HCHO放散量測定結果
ラワン 12, F₂ (10 ヶ月後)

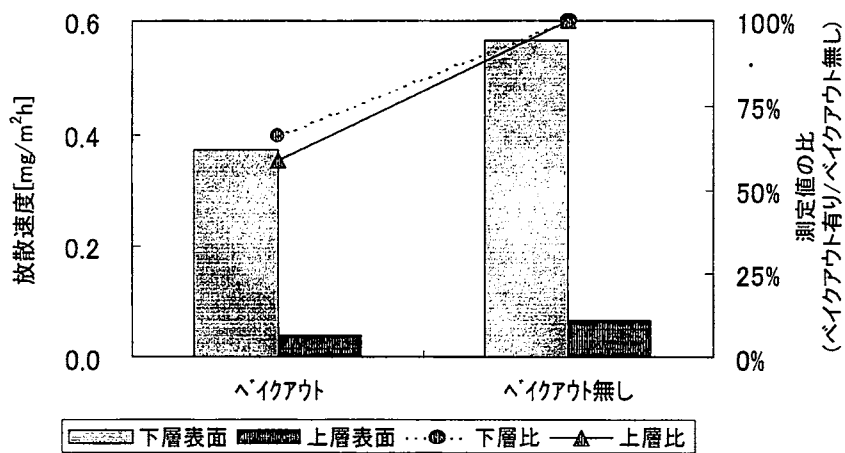


図 5.11 HCHO放散量測定結果
ラワン 12 (ベイクアウト 24 時間後)

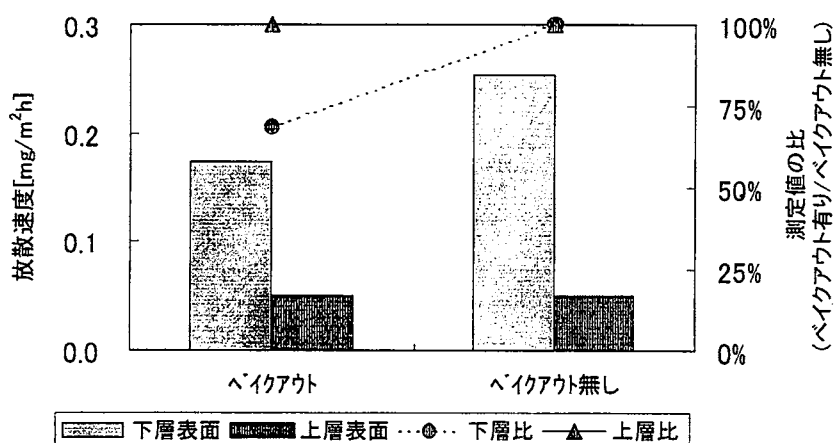


図 5.12 HCHO放散量測定結果
床板 (ベイクアウト 24 時間後)

測定した試験片は、24 時間ベイクアウト後 24 時間経過したラワン 12 と床板、ベイクアウト無しで放置していたラワン 12 と床板、12 時間ベイクアウト後 10 ヶ月を経過したラワン 12、24 時間ベイクアウト後 10 ヶ月経過したラワン 12、室内に放置して 10 ヶ月経過したベイクアウト無しのラワン 12 である。

測定結果を図 5.10～図 5.12 に示す。

図 5.10 は 10 ヶ月経過したベイクアウト有り及びベイクアウト無しのラワン 12 (F₂) の測定結果である。外気に曝されていた上層表面及び下層表面とも、12 時間ベイクアウトとベイクアウト無しの試験片の放散量は同程度であったが、24 時間ベイクアウトの試験片放散量は、他と比較して上層表面が約 59%，下層表面が約 80%であった。

図 5.11 はコンパネのベイクアウト 24 時間後と、ベイクアウト無しの測定結果である。ベイクアウトを行った試験片の上層表面はベイクアウト無しの約 59%，下層表面では約 66%であった。

図 5.12 はベイクアウト 24 時間後の床板と、ベイクアウト無しの床板の測定結果である。上層表面では同程度だが、下層表面ではベイクアウト 24 時間後の測定値はベイクアウト無しの約 68%であった。

上記の結果から、ベイクアウトによるホルムアルデヒドの低減効果について、表面からの放散が低減されるだけではなく、建材内部の含有量自体も低減できていると考えられる。ただし図 5.10 のように、ベイクアウトから 10 ヶ月経過した 12 時間ベイクアウトとベイクアウト無しの場合とでは、明確な差は認められなかった。

4. 複数建材種の同時ベイクアウト

表 5.5 試験片と実験条件

試験片	・ラワン合板 (t=12mm, 以下ラワン 12), 購入 1 日後, F ₁ ・床板 (t=12mm), 購入 1 日後, F ₁ ・壁紙+ラワン (ラワン 12 に壁紙を貼ったもの) 製作から約 6 時間, K 社製接着剤 1 g 使用 ・アルミ片
試験片の大きさ	: 10cm×10cm 側面・裏面をアルミでシール
試験条件	: ベイクアウト設定温度 40℃ ベイクアウト室換気回数 0 回/h (無換気) 及び 約 0.5 回/h

表 5.5 に試験片と試験条件を示す。図 5.13 と図 5.14 はベイクアウト無しの試験片と、無換気でベイクアウトを行った試験片の HCHO 測定結果である。

実際の室内には多種の建材が存在する。そこで、異なる材質の建材を同時にベイクアウトして、化学物質放散量減衰にどのような影響が生ずるかを確認する実験を行った。

同一材質の試験片は、すべて購入 1 日後の 1 枚の部材から切り出して作製した。ただし、最初に行う無換気での試験と換気を伴う試験では約 2 週間の時間差がある。

壁紙+ラワン以外の各試験片は、ベイクアウト試験まではアルミホイルで包み保管した

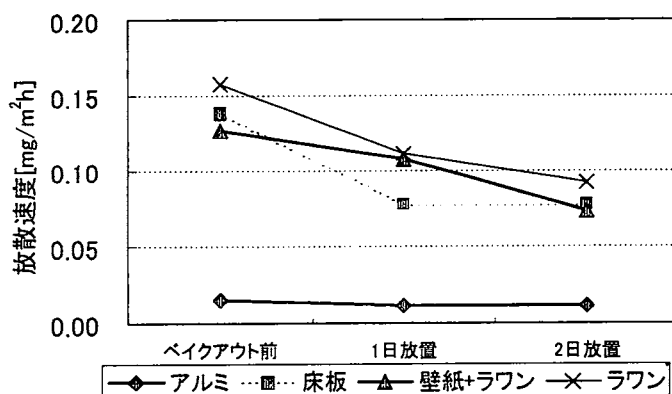


図 5.13 ベイクアウト無しのHCHO放散量推移
(無換気ベイクアウトと同時比較)

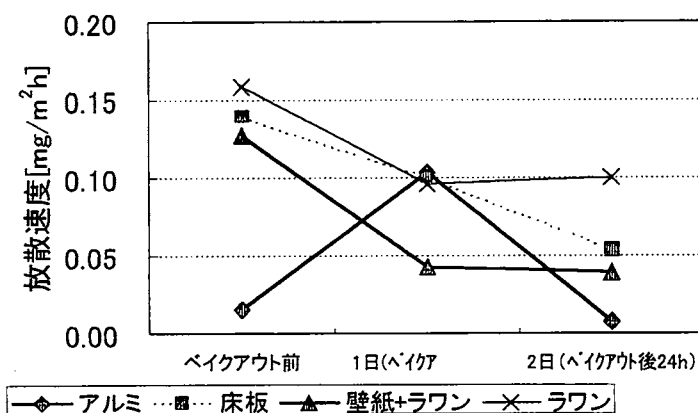


図 5.14 無換気ベイクアウトのHCHO放散量推移

が、壁紙+ラワンの試験片は接着剤の乾燥程度に極端に差が出ると考えられたため、各ベイクアウト試験前に新たに作製した。

ベイクアウト時間は24時間で、あらかじめ40℃に設定したベイクアウト室内に、ラワン12、床板、壁紙+ラワン、アルミ片各1枚を同時に2行2列、各試験片間隔が5cm程度になるように装着して、無換気状態と換気回数約0.5回/h：250ml/minの換気状態の2条件下で行った。

測定は、ベイクアウト前、1日後(ベイクアウトを行った試験片はベイクアウト終了後4時間後)、2日後(ベイクアウトを行った試験片はベイクアウト終了後24時間後)に行った。

ベイクアウト前の測定は各試験片の作製条件が同一であるため、ベイクアウト用試験片と、ベイクアウト無しで放置する試験片のうちベイクアウト用試験片のみを測定して、両者のベイクアウト前測定値とした。試料空気の採取はホルムアルデヒドを採取した後に、VOCsを採取した。

試験片の保管については、ベイクアウト無しの試験片は、清浄な空気の室内に互いの影響が無いように離して保管した。ベイクアウトした試験片はベイクアウト装置から取り出し、清浄な空気の室内に互いの影響が無いように離して保管した。

すべての試験片を同時に測定することはできないため、最初の試験片を放散量測定装置にセットした後、その他の試験片は測定まではアルミホイルで梱包して保管し、条件が変化しないように留意した^{注4)}。

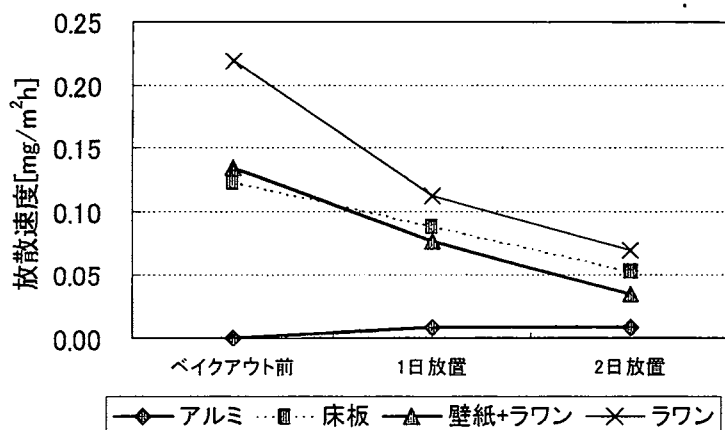


図 5.15 ベイクアウト無しのHCHO放散量推移
(換気ベイクアウトと同時比較)

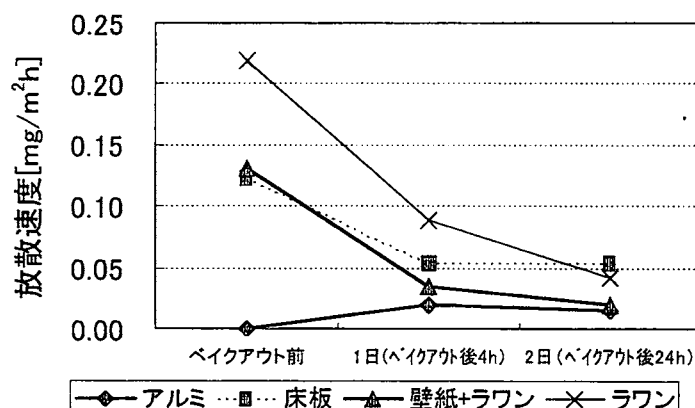


図 5.16 換気有リベイクアウトのHCHO放散量推移

2 日後ではベイクアウトを行った試験片の測定値はベイクアウトなしと比較して、ラワン 12 が同程度、その他は約 30%～約 47%低くなった。1 日後では床板はベイクアウトを行った試験片のほうがベイクアウト無しよりも若干高く、アルミ片ではベイクアウト前の $0.005\text{mg/m}^2\text{h}$ から $0.034\text{mg/m}^2\text{h}$ に上昇している。この原因の一つとして、再吸着の可能性が考えられる。

図 5.15 と図 5.16 はベイクアウト無しの試験片と、換気有りでベイクアウトを行った試験片のホルムアルデヒド測定結果である。ベイクアウトを行った試験片では、アルミが若干高くなった他は 1 日後、2 日後ともベイクアウト無しよりも低くなっている。特に 1 日後では、図 5.14 の無換気でベイクアウトした試験片と比較しても低い値となった。

無換気でのベイクアウト試験時から若干の時間経過があるため、ラワン 12 以外の試験片自体の値が低下した恐れもあるが、アルミ片の測定値の差異を考慮すれば、換気によりホルムアルデヒドの再吸着量が減少したものと思われる。

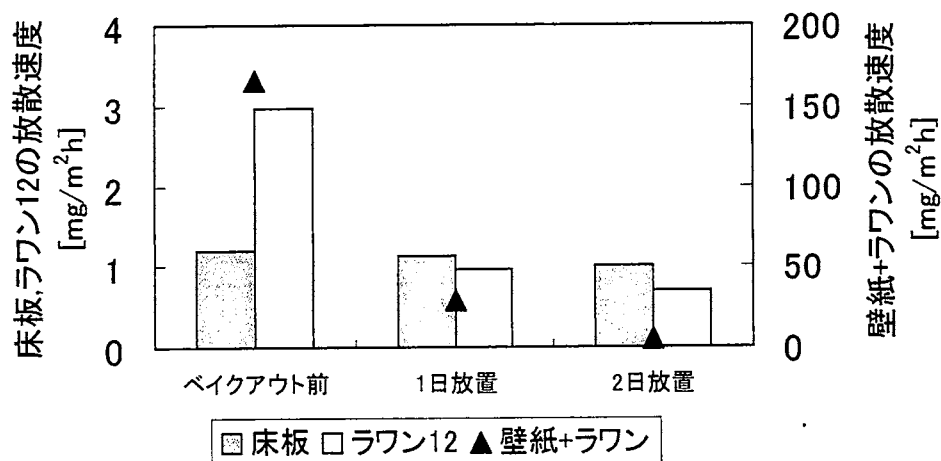


図 5.17 ベイクアウト無し(無換気ベイクアウトと同時試験)の TVOC 放散量推移

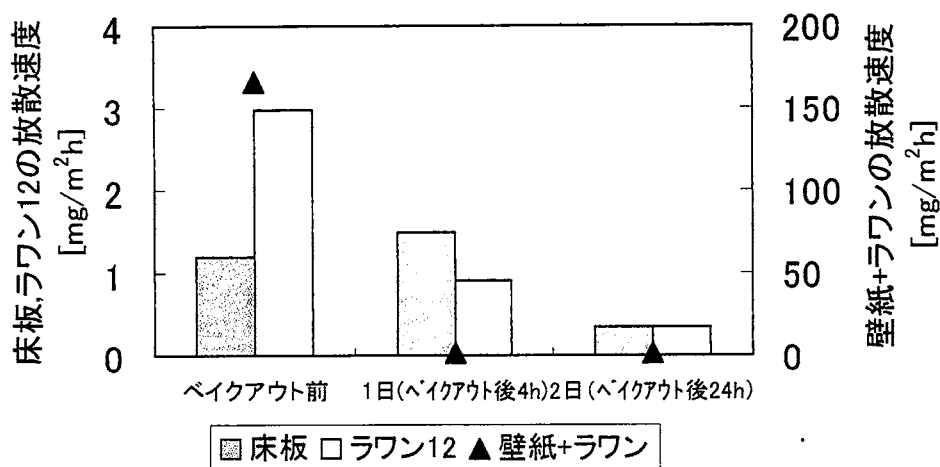


図 5.18 無換気ベイクアウトの TVOC 放散量推移

図 5.17 と図 5.18 はベイクアウト無しの試験片と、無換気でベイクアウトを行った試験片の TVOC 測定結果である。2 日後では、ベイクアウトを行った試験片は、すべてベイクアウト無しの試験片よりも低い値であったが、1 日後では床板が若干高く、ラワン 12 は同程度であった。また、ベイクアウトを行った試験片の測定値の推移は、2 日後は 1 日後よりもさらに 60% から 75% 程度低い値であった。2 日後には試験片に再吸着、又は試験片表面や表面付近の未放散 VOCs の放散が進んだためと考えられる。

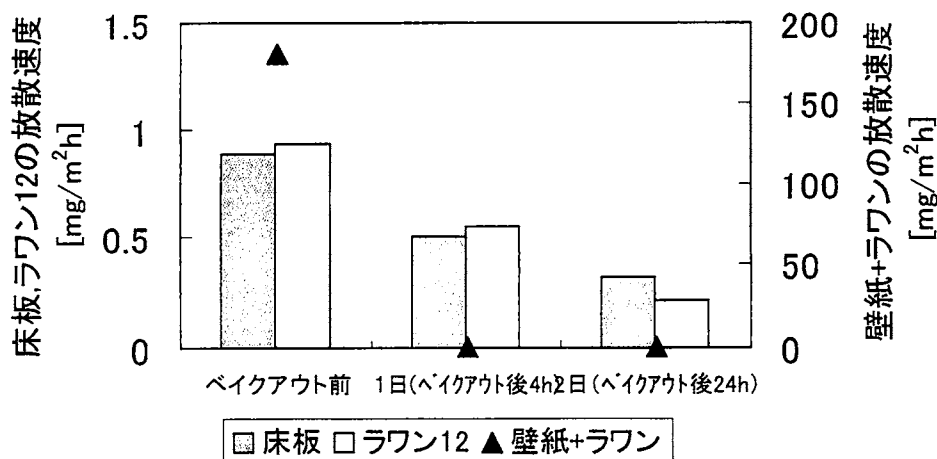


図 5.19 換気有ベイクアウトのTVOC放散量推移

図 5.19 は 0.5 回/h の換気を伴ったベイクアウト実験の測定結果である。試験片(壁紙+ラワン以外)のベイクアウト前の測定値は、無換気でのベイクアウト試験時に作製して保管していたため、時間の経過によって低い値となった。2 日後の測定値を 1 日後と比較すると、壁紙+ラワンは同程度で、床板とラワン 12 は 40%から 60%低い値であった。無換気でのベイクアウト試験と比較して、2 日後の測定値は 1 日後の測定値よりも減少率が高くなった。この要因として、換気を伴うベイクアウトでは無換気状態のベイクアウトよりも、一度空気中に放散された VOCs の再吸着量の減少や、表面又は表面付近の VOCs 放散の促進が考えられる。

本実験による HCHO, TVOC の減衰は、野崎らの報告²³⁾における建材レベルでのベイクアウトによる HCHO, TVOC の減衰よりも大きい。

例えば、床の TVOC では、野崎らが 19.1%~22.1%の減衰であるのに対し、本実験における床板の減衰は約 56%~61%であった。この相違の要因として、使用した建材の履歴、試験片構造及びベイクアウト後測定までの経過時間の差異が考えられる。

野崎らの試験片はコンクリート下地であり、ベイクアウト後の測定は、ベイクアウト終了後 6 時間後に測定している。また、下地コンクリートに蓄熱された熱量の放熱に伴って放散が促されることによる、ベイクアウト効果増大の可能性を示唆している。本実験の試験片はコンクリート下地がなく、蓄熱は床板やラワン合板自体によるもののみである。本実験結果は、ベイクアウト 4 時間後の測定よりも 24 時間後のほうが減衰は大きくなった。

放散量減衰効果では数値的差異はあるが、ベイクアウト後測定までの時間との関係では、野崎らの指摘するような結果となった。

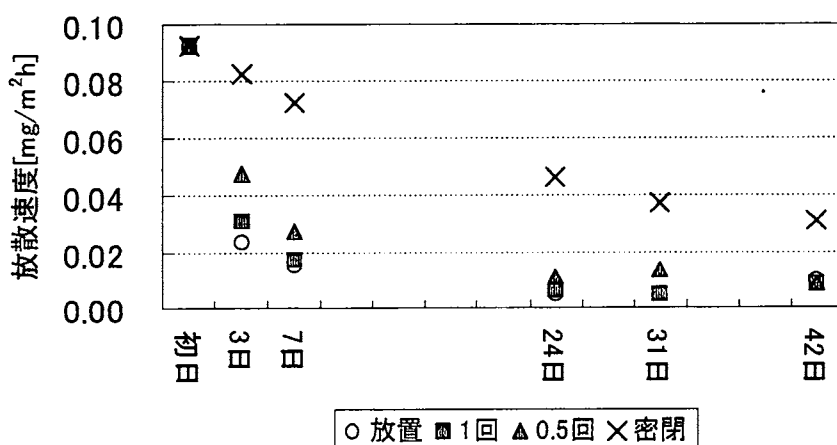


図 5.20 換気回数によるHCHO放散量の自然減衰

5. 換気回数とHCHOの自然減衰の関係

図 5.20 に測定結果を示す。

建材保管時の換気回数の相違による HCHO の自然減衰の傾向を把握するため、購入 1 日後の床板 (F₁) を用いて測定を行った。試験片は 10cm 角で、各側面裏面をアルミでシールしている。試験片を切り出した床板自体の購入前履歴は不明である。

試験は、密閉、換気回数 0.5 回/h、1 回/h とした 4L のガラスチャンバー 3 個に試験片を各 2 個ずつセットしたものと、保管室内に放置した状態の試験片の計 4 種類について行った。これらの試験片は、清浄空気のもとで直射日光を避けて保管した。

保管室内は空調機で室温を調整している (平均室温 23.4℃)。換気のための空気は、外気を空気清浄装置に取り入れたものをガラスチャンバー内に導入した。loading factor (本実験の場合、試験片表面積/ガラスチャンバー容積) は 2.5m²/m³ で通常の住居 (室内側表面積/室容積) などよりも小さいため、自然減衰の傾向把握はできても、この試験の測定値や測定値の比率が、そのまま実際の住宅における換気回数の効果に適用できるとは限らない。

測定は各試験片とも、保管していたガラスチャンバーから試験片 1 枚を取り出して、直ちに放散量測定装置に移して測定した。そのため、測定値は床板表面に再吸着していたホルムアルデヒドの再放散も含んだ値である。測定日は試験初日、3 日後、7 日後、24 日後、31 日後、42 日後に行った。初日については放置用に作製した試験片のみを測定した。同一部材から作製したため、他の試験片は同一値とみなした。

外気放置は 3 日後には初日の 25% 程度まで減少し、換気回数 1 回/h は 7 日後には外気放置に近い値まで低下した。換気回数 0.5 回/h では 3 日後が初日の約 51%、24 日後以降には外気放置と比較的近い値となった。密閉では 42 日後でも、同じ時期の他の保管状態に比較すると 3 倍程度高い値であった。

建材の製造からの履歴が新しい場合や出庫直後などは、表面又は表面付近の比較的放散しやすい部分に化学物質が多く含まれている (又は、吸着している)。そのため出庫後或使用前に、換気回数 1 回/h 以上の空気が清浄な場所で 3 日間以上放置することで、初期放散量を 50% 程度以上は減少可能と考えられる。

前項の結果(図 5.14, 5.16)と本章の実験による HCHO 放散量減衰率の比較では, 図 5.14 の無換気ベイクアウト後 2 日後(ベイクアウト 24 時間後=図 5.20 の 3 日に相当)が約 61% の減衰率であるのに対し, 図 5.20 の換気回数 1 回/h の保管 3 日目では約 66%と, ほぼ同程度であった。しかし, 密閉保管の減衰率は約 11%, 0.5 回/h 換気保管で約 49%であった。

本実験では, 外気放置や換気回数 1 回/h の実験開始 3 日目の放散量まで低減するには, 換気回数 0.5 回/h では 7 日, 密閉では 42 日を要している。

高気密住宅など気密性の高い建築物で, 出庫直後の建材を内装に使用した場合などは, 初期放散低減に十分な換気の確保が困難であろう。しかし, 無換気でのベイクアウト実験で, 初期放散を外気放置や換気回数 1 回/h と同程度まで低減できていることから, 気密性の高い建築物でもベイクアウトを施すことによって, 初期放散を低減することができると考えられる。なお減衰率は以下の式による^{注5)}。

$$Dr = 1 - (Aef \div Bef) \quad \cdots (2)$$

Dr : 減衰率

Aef : ベイクアウト後 (保管開始後) 放散量 [mg/m²h]

Bef : ベイクアウト前 (初日) 放散量 [mg/m²h]

6. 本章のまとめ

本章では, ベイクアウトによる室内空気質改善効果の定量的把握を目的として, 試験片用の小型ベイクアウト装置と放散量測定装置を作製し, 建材レベルでベイクアウト実験を行い, HCHO, TVOC のベイクアウトによる減衰効果について検討を行った。

本実験により得られた結論を以下にまとめる。

- (1) ベイクアウトの時間は長いほど効果が見込めるが, 少なくとも 24 時間以上のベイクアウトがより有効と考えられる。
- (2) ベイクアウト中における各建材からの TVOC 放散は, ベイクアウト初期に多く, 特に, 加工後 4 時間しか経過していない壁紙+ラワンの場合は, この傾向が著しく認められた。
- (3) 試験片を切り離した放散量測定から, ベイクアウトにより建材内部の HCHO 放散量が低下することを確認した。
- (4) HCHO や VOCs 放散量が異なる建材が混在する状況では, ベイクアウト後の一時的な建材への再吸着と脱着による放散量増大の可能性があると確認した。
- (5) 換気有りのベイクアウトにより, 建材への再吸着量を低くする可能性が有ること示した。
- (6) 建材からの HCHO の放散には, 保管時の換気回数が多いほど, 放散量の低下が早いことを確認した。
- (7) ベイクアウトによる室内汚染状況の早期低減の可能性を確認した。特に, 施工事情で出庫直後の建材を高気密住宅などの内装に使用した場合, ベイクアウトにより初期放散量を早期に低減できる可能性があることを明らかにした。

【参考文献】

- 1)野崎淳夫, 飯倉一雄, 吉澤晋, 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の効果(その 1), 日本建築学会計画系論文集, No.530, pp.61~66,2000.4
- 2)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, 室内環境学会誌平成 12 年度室内環境学会総会講演集, pp.50~51,2000.12
- 3)野崎淳夫, 坊垣和明, 飯倉一雄, 藤井修二, 吉澤晋: 部材レベルの室内化学物質発生に関する研究(2), 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp.823~824,2000.9
- 4)小竿真一郎, 入江建久: 新築病対策の一提案(ベイクアウト手法によるホルムアルデヒドの除去), 日本マンション学会第 5 回大会研究報告集, pp28~29,1996.4
- 5)Ozao, Irie, Hori, Kyo: Experimental Study Concerning the Reduction of Indoor Formaldehyde Concentrations by Bake Out process, Proc. of the 7th International Conference on INDOOR AIR QUALITY AND CLIMATE, Vol.13, pp625~631, 1996.Jul.
- 6)小竿真一郎, 入江建久, 堀雅宏他: 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(その 2), 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, pp187~192,1997.4
- 7)熊野康子, 石川一雄: 新築集合住宅におけるベイクアウトと換気による TVOC の低減効果について, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp771~772,2000.9
- 8)村上周三, 加藤信介, 伊藤一秀: 床材からの内部拡散支配型物質放散に対する材料温度の影響と換気除去効果, 日本建築学会計画系論文集, No523, pp.63~69,1999.9
- 9) F.Haghighat et al.: To Bake or not to Bake, Proc. of Healthy Building '94, pp.369~374, 1994.Aug
- 10) F.J.Offermann et al.: Indoor Contaminant Emission Rates before and after a Building Bake-Out, Proc. of the 6th International Conference on INDOOR AIR QUALITY AND CLIMATE, Vol.6, pp. 687~691,1993.Jul
- 11) 谷英樹, 団栗知男, 滝口忠保, 守屋正裕: フローリングからのホルムアルデヒド発生に関するチャンバー実験~床暖房によるベイクアウト効果の確認~, 空気調和衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.1261~1264,1998.8
- 12)岡野彰, 河本孝紀: 新築住宅の空気室実態調査とベイクアウトの効果について, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D2, pp781~782,1999.9
- 13)小竿真一郎, 入江建久, 堀雅宏: ベイクアウトによる室内空気汚染制御, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D2, pp783~784,1999.9
- 14) S.Kimberly: REDUCING OCCUPANT EXPOSURE TO VORATILE ORGANIC COMPOUNDS(VOCs) FROM OFFICE BUILDING CONSTRUCTION MATERIALS: NON-BINDING GUIDELINES, DEPARTMENT OF HEALTH SERVICE,1996.Jul
- 15) 岩下剛: 建材からの揮発性有機化合物発生量の算定法に関する研究, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp593~596,1998.8
- 16)堀雅宏: 環境と建材の測定のか考え方と実際, 人間一生活環境系講演会第 2 回室内空気室計測シンポジウム講演要旨集, pp.28~37,2000.7

注1：PID-TVOC計測定前後の試料空気成分確認実験

PID-TVOC計の測定前後のガス組成変化の有無を、予備試験により確認した。

装置概略図を補図1に示し、測定結果を補表1に示す。

予備試験は4Lのガラスチャンバー内に試験片として10cm角の構造用合板3枚を入れ、清浄空気でも空気を置換した後、PID-TVOC計前後のTVOC濃度を熱線半導体式TVOC計で測定した。また、PID-TVOC前後にVOCs吸着剤を設置し、ガスを採取してGC/FIDを用いた測定も行った。TVOC計、GC/FIDともに、PID-TVOC計吸入前後での差はほとんどない。

熱線半導体TVOC計の指示値とPID-TVOC計の濃度の関係は、各VOCや水蒸気に対する感度がそれぞれのTVOC計で異なるため、含まれるVOCsの種類や湿度、温度により変化し一定ではない。そのためこの結果を持って、必ずしも熱線半導体TVOC計の指示値とPID-TVOC計の濃度の関係を判断できるとは限らない。また、GC/FIDでは、組成変化を調べるのが目的であるため成分の同定は行っていないが、クロマトグラムの波形から成分構成にほとんど変化のないことを確認した(図省略)。

ピークエリア合計はPID-TVOC計吸入前に比較して、排出後でもほとんど差が無かった。なお、本実験で使用した熱線半導体TVOC計は、センサへの化学物質接触による無単位の電導率変化値を、無換算でモニタに出力する。

なお、試験方法はガラスチャンバーの簡易循環型¹⁶⁾を用いた。

注2：本装置には調湿装置は付加されていない。外気の湿度変化の影響を把握するため、試験片無しで装置を稼動し、ベイクアウト室内の温湿度変動を測定した。

ベイクアウト温度の設定は40℃とした。室内温度が40℃に達した後の平均温度は約40.2℃(最高40.6℃, 最低39.7℃), 絶対湿度は平均で7.8g/kgDA(最高8.8g/kgDA, 最低7.3g/kgDA)であった(補図2)。清浄空気導入量を280mL/minとした換気状態の場合、平均40.6℃(設定温度42℃, 最高41.9℃, 最低38.8℃), 平均7.8g/kgDA(最高8.4g/kgDA, 最低7g/kgDA)であった(図省略)。

注3：本実験で使用した部材とは別の部材から作製した試験片で、同様な実験を本論図5~8の結果と併せて別途行っている。放散量に差異はあるが、放散状況は本実験と類似した結果であった。(補図3~6)

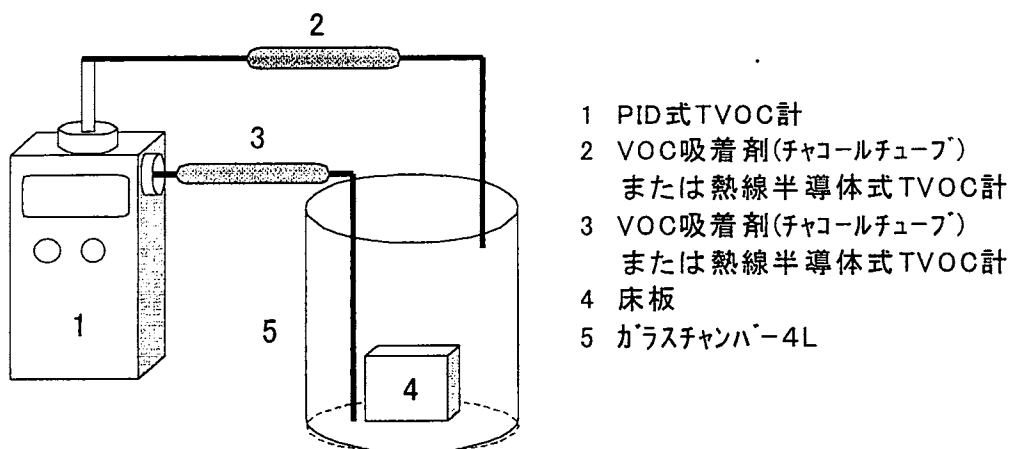
注4：試験片作成に使用したアルミテープの影響を調べるため、10cm×10cm×0.3cmのアルミ片に試験片同様にアルミテープを貼り、作成1時間後と6時間のベイクアウト後2時間後に測定を行った。

作成1時間後では0.8μg, ベイクアウト後では定量下限以下であった。

注5：ベイクアウトの低減効果評価法では、野崎らも減衰率で評価を行っている。

野崎らによれば、試験片を入れたチャンバー内定常濃度をベイクアウト前後で測定して求めた減少率から、別途測定した建材履歴による減少率を差引き室内濃度減少率として、ベイクアウトの低減効果を評価している。

本章の減衰率を求める(2)式は、換気回数と履歴による自然減衰の評価及びベイクアウトによる低減効果の評価の両方に使用するため、履歴による減衰率は差し引かれていない。したがって、(2)式で求めたベイクアウト後の減衰率は履歴による減衰率も含んだ値である。



補図1 PID-TVOC 計測定前後の試料空気成分確認実験

補表 6.1 予備試験結果

熱線半導体 TVOC 計指示値

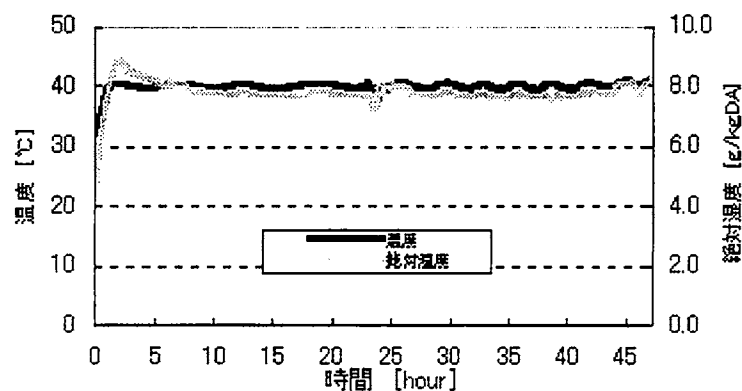
PID 吸入前指示値 (10 分平均) 574 (無単位)

PID 排出後指示値 (10 分平均) 573 (無単位)

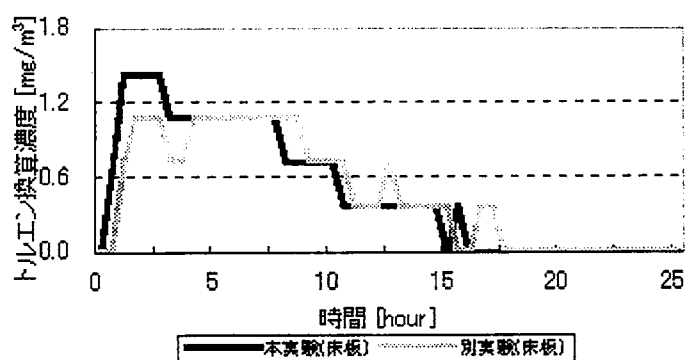
PID・TVOC 計濃度 (10 分平均) 0.5ppm

GC/FID ピークエリア合計比

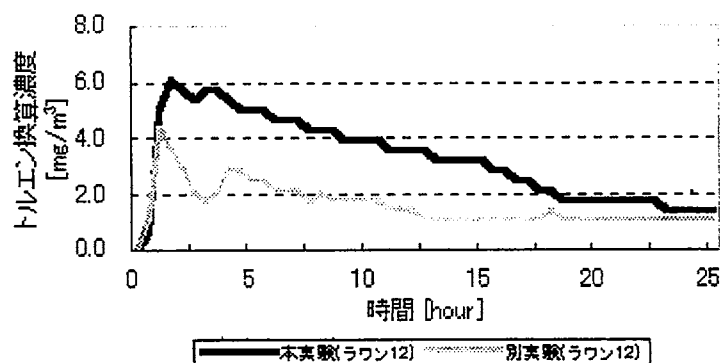
PID 吸入前：排出後=1：0.98



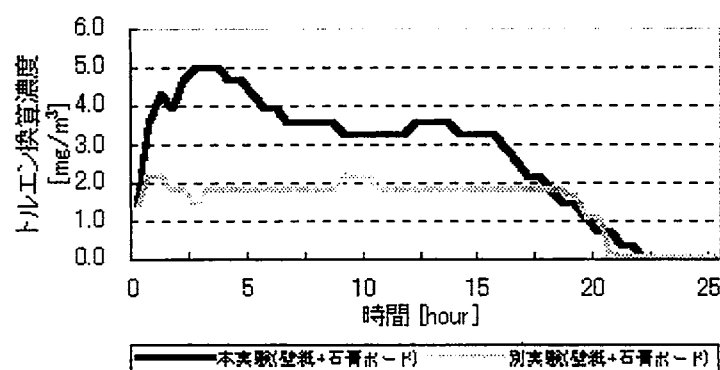
補図2 バイクアウト室内温度・絶対湿度



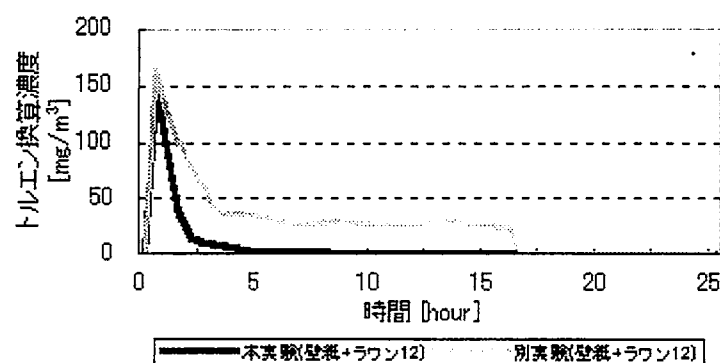
補図3 床板



補図4 ラワン12



補図5 壁紙+石膏ボード



補図6 壁紙+ラワン12

第6章

ベイクアウトの化学物質低減効果と建材の履歴及び
室内空気中の化学物質濃度との関係に関する検討

1. 本章の目的

国民生活センターの「健康住宅」に関する調査では、室内空気汚染が原因と見られる健康障害の約60%は、入居後3ヶ月未満¹⁾と報告されている。また、新築住宅への入居直後や住宅のリフォーム直後から健康上の異変を訴える報告²⁾もある。未入居の新築住宅やリフォーム直後では、健康に悪影響を与えるとされる室内空気中の化学物質の大部分は、建材や施工時の接着剤等に起因すると考えられる。

化学物質による室内空気汚染の低減法には、建材等に含まれる化学物質量を低減する方法の一つとしてベイクアウト³⁾がある。

野崎ら³⁾は、ベイクアウトとは「ある一定期間室温を一時的に上昇させることで、汚染源からの発生を促進させて、平常時の汚染物発生を緩和する手法である。」と定義している。

近年、我が国でも室内空気質汚染の汚染低減法として、ベイクアウトが研究されて来ている。例えば、野崎らは、竣工後3ヶ月の集合住宅でベイクアウトを行い、ホルムアルデヒドが30%、TVOCが50%低減したことを報告³⁾している。また、部材レベルでの実験ではTVOCの明確な低減を報告⁴⁾⁵⁾⁶⁾している。小竿らは、木造住宅のベイクアウトで、ホルムアルデヒドが70%、TVOCが30%低減したことを報告⁷⁾⁸⁾している。藤村らは、シミュレーションによりベイクアウト効果が表面近傍の化学物質量に左右されることを予測している⁹⁾。その他にも、評価法や低減効果数値予測では定量的な検討¹⁰⁾¹¹⁾がなされて来ている。

しかしながら、既報の研究におけるベイクアウト実験の対象は、履歴が新しい建材や新築住宅等、効果の確認が比較的容易と考えられる条件下での実験が多く、築後数年の住宅等、汚染程度が低いと考えられる状態における低減効果の検討は不十分である。

実際の室内空気汚染対策の対象が、新築直後のように比較的高濃度な汚染状態であるとは限らない。実務上の経験によれば、汚染程度が低く、空気清浄機も導入されている状況で、さらに何らかの低減策を必要とする場合がある。このような状況で、低濃度域におけるベイクアウトによる低減効果のデータ不備は、低減策の決定と結果予測を困難にしている。そのため、低濃度域におけるベイクアウトによる低減効果を検討する必要があると考えられる。

本章の目的は、低濃度域と高濃度域におけるベイクアウトによる化学物質の低減効果の相違を把握して、特に低濃度側での低減効果を検討することである。

実験は、履歴が異なる建材と実験装置を用いた建材レベルの実験、及び、履歴と室内空気中の化学物質濃度が異なる実際の住宅を用いた実大レベルでのベイクアウト実験の2段階で行っている。

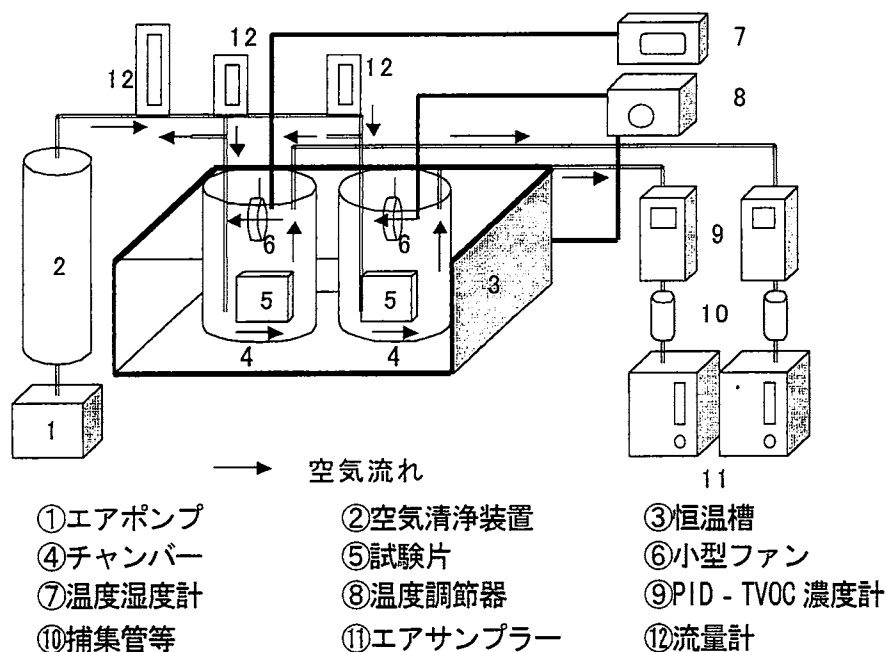


図 6.1 化学物質濃度測定装置概略図

(Inner Chemical Substance Investigation Cell System: ICSICS)

2. 建材レベルのベイクアウト実験

2-1 本節の目的と実験概要

建材レベルの実験は、建材の種類別に、履歴が異なる試験片を用いることで、室内の部位別にベイクアウトによる化学物質低減効果の相違を把握することを目的とする。

本実験は、ベイクアウトが可能な化学物質濃度測定装置を用いて、建材を入れたチャンバー内のベイクアウト前の化学物質濃度、及びベイクアウト終了から 24 時間後の化学物質濃度を測定して、ベイクアウト効果を検討した。

ベイクアウト効果の評価については、野崎らにより、ベイクアウト前後の濃度と自然減衰を考慮した評価方法³⁾が提案されているが、本報では、ベイクアウト無しの試験片や室内での測定濃度、及び濃度比(実験後の濃度/実験前の濃度)と直接比較している。

2-2 化学物質濃度測定装置=Inner Chemical Substance Investigation Cell System

図 6.1 に、化学物質濃度測定装置(Inner Chemical Substance Investigation Cell System: ICSICS)の概略図を示す。

キャリアガスには、空気清浄装置内のシリカゲルと活性炭により通常の室内空気を清浄空気にして使用する。

恒温層は室温~80℃まで温度設定が可能であり、温度制御は、チャンバー内のセンサーとチャンバー外の温度調節器を使用して、ヒーターの ON・OFF により行う。本装置は、恒温層の温度を高く設定することによって、ベイクアウト実験を行うことも可能である。

恒温層内のチャンバーは、容積約 2.2L のスチール製チャンバーを使用している。チャ

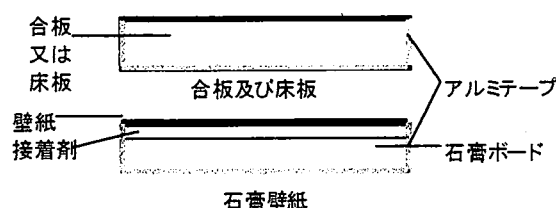


図6.2 試験片断面図

表 6.1 試験片概要

本文中表記	建材の種類	実験時の履歴・規格・その他
床板	床板	購入 7 日, FC_0 , 厚さ 1.2cm
4 ヶ月床板		購入 4 ヶ月, FC_0 , 厚さ 1.2cm
合板	構造用合板	購入 7 日, FC_2 , 厚さ 1.2cm
7 ヶ月合板		購入 7 ヶ月, FC_2 , 厚さ 1.2cm
石膏壁紙	石膏ボードに 壁紙を貼付けた 建材	購入 7 日, アクリルラミネート紙壁紙 購入 7 日, 石膏ボード E_1 厚さ 1cm 合成ゴム系接着剤 1 g 塗布 実験 1 日前に作製
7 ヶ月石膏壁紙		購入 7 ヶ月, アクリルラミネート紙壁紙 購入 7 ヶ月, 石膏ボード E_1 厚さ 1cm 合成ゴム系接着剤 1 g 塗布 実験の約 7 ヶ月前に作製

ンバー内には、空気を均一に攪拌するために小型のファンを取付け、試験片はアルミ製試験片立てに装着する。

清浄空気を流す導管には、導管からのコンタミネーションを少なくするため、SUS 製キャピラリーチューブを使用し、可動部分には、テフロンチューブを使用している。各部分を接続するコネクタには、シリコンチューブを使用している。シリコンチューブからのコンタミネーションを防ぐため、使用前に 150℃のオーブンで約 10 時間のエージングを行っている。

チャンバー内の TVOC 濃度を連続モニターする場合は、連続モニター可能な TVOC 濃度計を使用する。チャンバーからの空気のサンプリングは、積算流量計付エアサンプラーを使用して、捕集管で捕集を行う。TVOC 濃度のモニタリングと空気のサンプリングを同時に行う場合は、TVOC 濃度計に PID-TVOC 濃度計を使用して、濃度計の排気部分に捕集管を接続して捕集を行う。なお、PID-TVOC 濃度計の導入前 VOCs と排気後 VOCs には、組成、濃度ともほとんど変化が無い事を、4 章の実験で確認している。

各ベイクアウト実験前に、システムブランク値を測定している。建材レベルのベイクアウト実験の全測定結果は、測定値からこのシステムブランク値を差し引いた値である。

2-3 試験片

図 6.2 に試験片の断面図、表 6.1 に試験片の概要を示す。
 <床板と構造用合板の試験片>の作製手順を以下に示す。

表 6.2 分析条件^{3) 13)}

分析機器	条件
GC/FID	検出器：FID キャリアガス：He 試料導入：スプリット キャピラリーカラム：DB-1 60m×0.25mm 気化室温度：250℃ 検出器温度：250℃ オープン温度設定：昇温プログラム(30℃~240℃)
HPLC	検出器：Spectrophotometric detector カラム：Sim-pac 150mm カラム温度：40℃ 移動層：アセトニトリル：水＝1：1

表 6.3 同定した揮発性有機化合物＝VOCs

脂肪族炭化水素類	ヘキサン，ヘプタン，オクタン，ノナン，デカン， ウンデカン，ドデカン，トリデカン， テトラデカン，ペンタデカン
芳香族炭化水素類	ベンゼン，トルエン，エチルベンゼン，o-キシレン， m-キシレン，p-キシレン，135 トリメチルベンゼン， 124 トリメチルベンゼン，123 トリメチルベンゼン
アルコール類	エタノール，プロパノール，ブタノール
テルペン類	αピネン，リモネン
ケトン・アルデヒド類	アセトン，メチルエチルケトン，メチルイソブチル ケトン，ブチルアルデヒド
ハロゲン類	テトラクロロエチレン，o-ジクロロベンゼン， p-ジクロロベンゼン
エステル類	酢酸エチル，酢酸ブチル

1)実験開始 1 週間前に 10cm 角の大きさに切り出した後，直ちに 1 枚毎アルミホイルで包装して，室温で保管する。

2)実験直前に表面のみ露出するよう，アルミテープで側面と裏面をシールする。

加工に使用するアルミテープは，建材に貼り付ける前に 24 時間外気に曝し，さらに貼り付け直前にドライヤーで 5 分間加熱後，室温程度に冷まして建材に貼り付けている。

<石膏ボードに壁紙を貼り付けた試験片>の作製手順を以下に示す。

1)実験前日に石膏ボードへ壁紙の貼り付けを行う。

2)実験直前に，表面のみ露出するようにアルミテープで側面と裏面をシールする。

購入から 7 ヶ月経過した石膏ボードに壁紙を貼り付けた試験片は，7 ヶ月前に加工後，清浄空気下の室温で保管している。また，比較のためのベイクアウト無しの試験片は，ベイクアウト実験中，清浄空気下の室温約 23℃で保管している。なお，試験片のアルミテープから放散され则认为られる VOCs の影響を確認するため，試験片と同様に作製して準備したアルミテープを鉄片に貼り付け，測定を行っているが化学物質は検出されていない。

2-4 測定分析方法

表 6.2 に分析条件，表 6.3 に同定可能な VOCs を示す。

VOCs の測定は，固相吸着/溶媒抽出－GC/FID 法による。活性炭チューブに，500mL/min

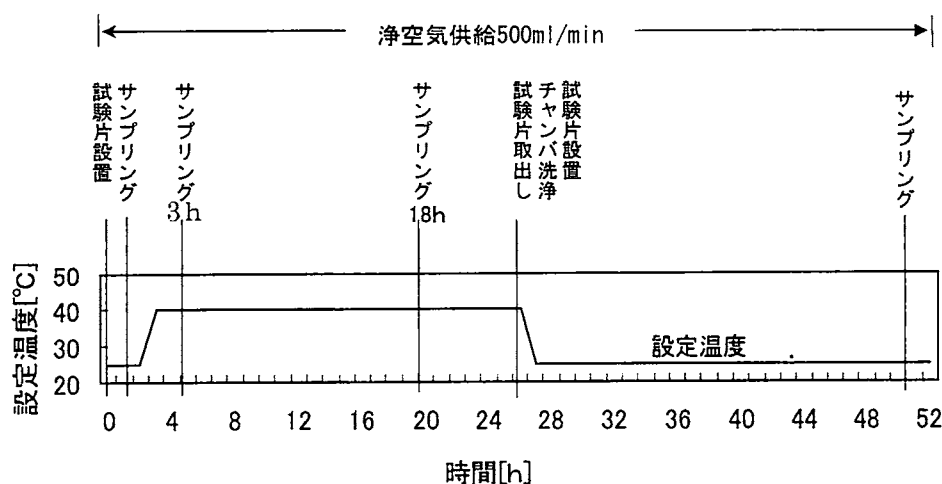


図 6.3 バイクアウト実験工程

で 30 分間チャンバーの空気をサンプリングして、二硫化炭素で抽出の後、GC/FID で分析している。また、未同定の VOCs は、未同定ピークを合計してトルエン換算している。

ホルムアルデヒド(HCHO)は、Sep-Pak-DNPH-HPLC 法による。200mL/min で 30 分サンプリングの後、アセトニトリルで抽出して HPLC で分析している。

2-5 実験工程

図 6.3 に、実験工程を示す。

- ①チャンバー内設定温度 25℃で各チャンバー内の試験片立てに試験片 1 枚を装着する。
 - ②装着から約 1 時間後に、バイクアウト前の VOCs 及び HCHO 濃度の測定を行う。
 - ③チャンバー内設定温度 40℃でバイクアウト開始。
 - ④バイクアウト開始から 3 時間後の VOCs 及び HCHO 濃度の測定を行う。
 - ⑤バイクアウト開始から 18 時間後の VOCs 及び HCHO 濃度の測定を行う。
 - ⑥バイクアウト終了。
 - ⑦試験片を取り出し、純水でチャンバーを洗浄後、ドライヤーで約 15 分間過熱する。
 - ⑧チャンバー内設定温度 25℃で試験片再装着を行う。
 - ⑨バイクアウト終了から 24 時間後の VOCs 及び HCHO 濃度の測定と、比較のため清浄空気下に保管したバイクアウト無しの試験片の VOCs 及び HCHO 濃度の測定を行う。
- なお、実験中は、チャンバー内に清浄空気が 500mL/min で給気されている。

2-6 VOCs 分類別濃度測定結果

図 6.4~図 6.9 に、VOCs 分類別積算濃度を示す。

分析結果は VOCs 分類別にまとめ、未同定ピークはトルエン換算している。図中の脂肪族炭化水素類、芳香族炭化水素類、アルコール類、テルペン類は、それぞれ表 6.3 に示した VOCs の合計濃度である。図中の「その他」は、ケトン類、ハロゲン類、エステル類及び未同定 VOCs の合計濃度である。ケトン類、ハロゲン類、エステル類の検出濃度が低く、本実験では余り影響をもたないため合算して示した。

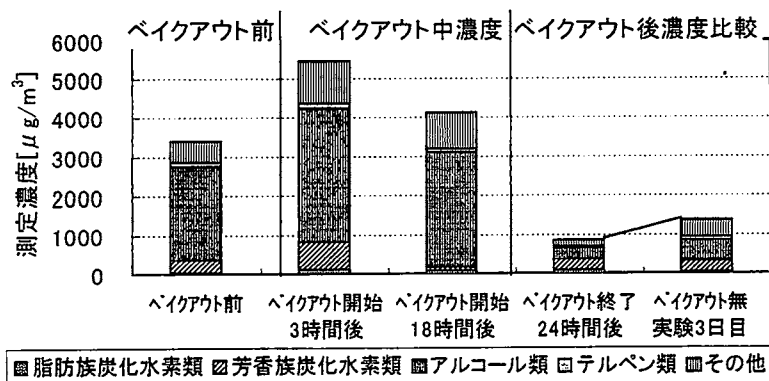


図 6.4 合板の VOCs 分類別積算濃度

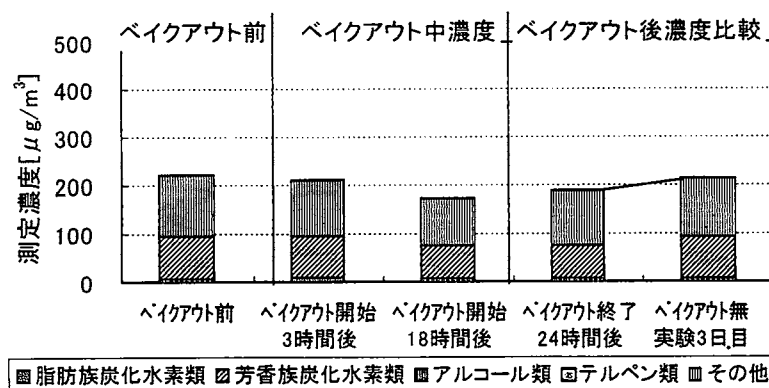


図 6.5 7ヶ月合板の VOCs 分類別積算濃度

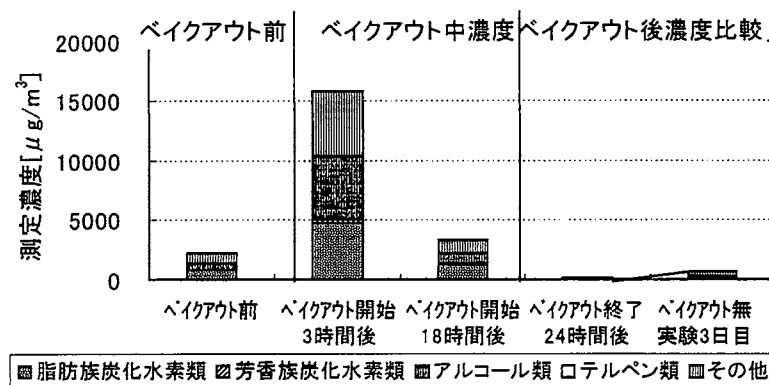


図 6.6 石膏壁紙の VOCs 分類別積算濃度

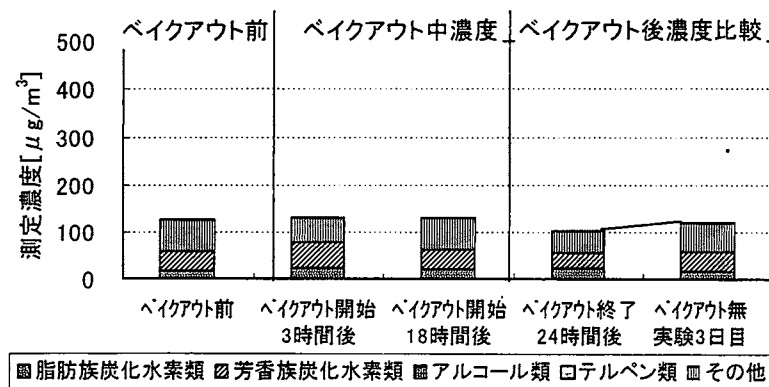


図 6.7 7ヶ月石膏壁紙の VOCs 分類別積算濃度

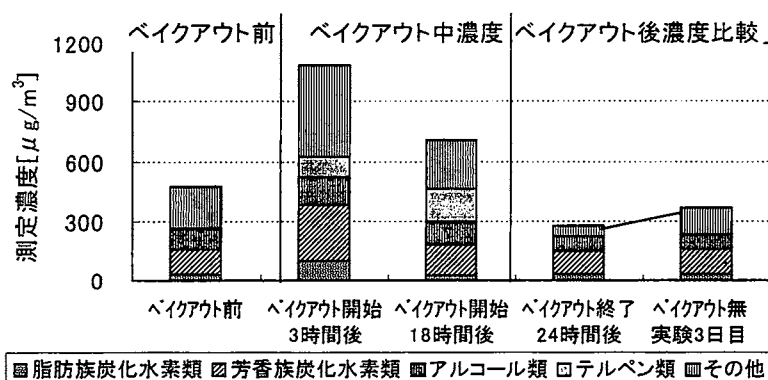


図 6.8 床板の VOCs 分類別積算濃度

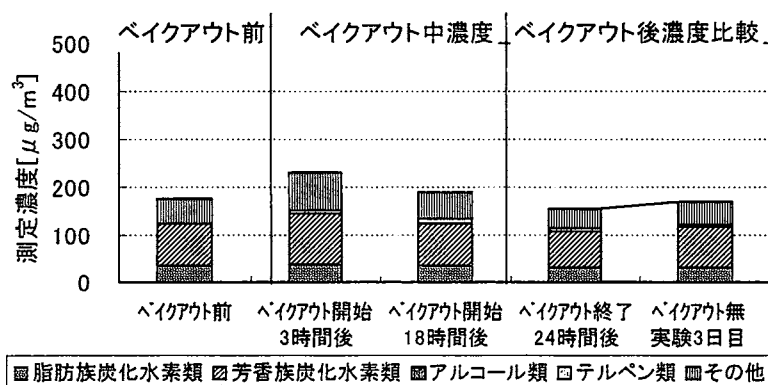


図 6.9 4 ヶ月床板の VOCs 分類別積算濃度

図 6.4 の合板では、ベイクアウト中は接着剤等の成分と考えられるアルコール類や芳香族炭化水素類の濃度が高く、ベイクアウト開始 3 時間後ではベイクアウト前の濃度より約 1.5 倍以上の濃度となっている。TVOC 濃度は、ベイクアウト後ではベイクアウト無の試験片と比較して、30%以上低減している。

図 6.5 の 7 ヶ月合板では、ベイクアウト中の化学物質濃度は上昇していない。ベイクアウト後の TVOC 濃度の比較では、ベイクアウト無の試験片と比較して約 10%低減している。

図 6.6 に示す、石膏壁紙では、ベイクアウト開始 3 時間では TVOC 濃度はベイクアウト前の 7 倍以上となっている。ベイクアウト後では、ベイクアウト無の試験片と比較して 70%以上低減している。

図 6.7 に示す、7 ヶ月石膏壁紙では、ベイクアウト中の化学物質濃度はほとんど上昇していない。ベイクアウト後の TVOC 濃度の比較では、ベイクアウト無と比較して約 14%低減している。

図 6.8 の床板では、ベイクアウト開始 3 時間では、TVOC 濃度はベイクアウト前の 2 倍以上になっている。ベイクアウト後の TVOC 濃度の比較では、ベイクアウト無と比較して約 25%低減している。

図 6.9 の 4 ヶ月床板では、ベイクアウト開始 3 時間では、TVOC 濃度はベイクアウト前の約 1.3 倍となり、ベイクアウト前に検出されていないテルペン類が約 $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 検出され

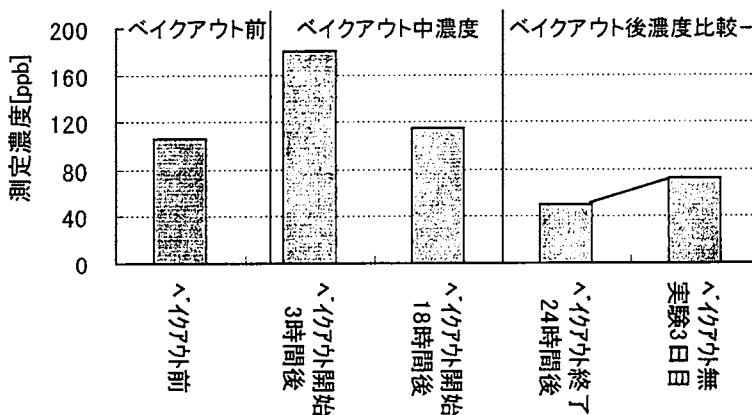


図 6.10 床板の HCHO 濃度

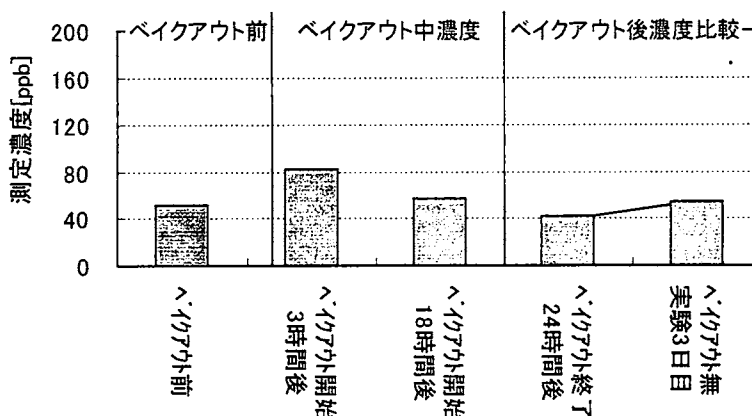


図 6.11 4ヶ月床板の HCHO 濃度

ている。ベイクアウト後の TVOC 濃度の比較では、ベイクアウト無と比較して約 10%低減しており、テルペン類はベイクアウト無では検出されていないが、ベイクアウトを行った試験片では $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 検出されている。

2-7 ベイクアウト中の HCHO 濃度測定結果

図 6.10 に、床板のホルムアルデヒドの濃度を示す。

ベイクアウト開始 3 時間では、ベイクアウト前と比較して約 1.7 倍の濃度である。ベイクアウト後では、ベイクアウト無と比較して 30%以上低減している。

図 6.11 に、4 ヶ月床板の HCHO 濃度を示す。

ベイクアウト開始 3 時間では、ベイクアウト前と比較して約 1.6 倍の濃度である。ベイクアウト後では、ベイクアウト無と比較して約 25%低減している。

2-8 建材レベルのベイクアウト実験の考察とまとめ

(1)合板、石膏壁紙、床板では、ベイクアウト中に接着剤成分と考えられる脂肪族炭化水素類、芳香族炭化水素類、アルコール類の濃度上昇が目立つ。また、ベイクアウト後の TVOC 濃度は、30%～40%低減している。特に石膏壁紙では、70%以上低減している。これらの結果は、野崎ら⁴⁵⁾の報告とほぼ同様である。ただし、本実験の石膏壁紙に相当する野崎ら

表 6.4 住宅概要

住宅	概要
A邸*	木造軸組み住宅, 未入居, 内装終了後 10 日
B邸*	木造軸組み住宅, 未入居, 内装終了後 30 日
C邸*	木造軸組み住宅, 入居済, 内装終了後 4 ヶ月
D邸	木造軸組み住宅, 入居済建築後 18 年, リフォーム後 2 年
E邸	木造プレハブ住宅, 入居済, 内装終了後 6 年

*A, B, C は同じ住宅メーカーによる同一モデルの住宅

表 6.5 各住宅の実験対象室と本文・図中表記及び実験内容

文中, 図中表記	住宅	実験対象室	実験内容
10 日未 B1	A 邸	洋室 A-1, 6 畳	ベイクアウト
10 日未 B2		洋室 A-2, 6 畳	ベイクアウト
10 日未 N		LDK, 18 畳, 吹抜	測定のみ
30 日未 B	B 邸	洋室 B-1, 6 畳	ベイクアウト
30 日未 N		洋室 B-2, 8 畳	測定のみ
4 月居 B1	C 邸	LDK, 18 畳, 吹抜, 床暖房	ベイクアウト
4 月居 B2		洋室, 6 畳	ベイクアウト
2 年居 B	D 邸	洋室, 8 畳, 床暖房	ベイクアウト
6 年居 B	E 邸	洋室, 6 畳	ベイクアウト

の壁の試験片では最大 40%の低減である。これは、試験片作製から実験までの時間経過と壁紙の材質の差によると考えられる。

(2)7 ヶ月合板, 7 ヶ月石膏壁紙, 4 ヶ月床板では、試験片の種類に関係なく、ベイクアウトによる低減は約 10%~14%であり効果は低いと言える。自然放散により、建材表面及び表面近傍の化学物質が低減しているためと考えられる。また、4 ヶ月床板ではベイクアウト前及びベイクアウト無の試験片では検出されなかったテルペン類がベイクアウト中から検出され、ベイクアウト後でも検出されている。既築住宅等では、ベイクアウト後にテルペン類の濃度が増加する可能性が推測される。

(3)4 ヶ月床板では、TVOC 濃度の低減は 10%程度であるが、ホルムアルデヒドは 25 %低減している。入居後 4 ヶ月程度経過して、自然放散により VOCs のベイクアウトによる低減が少ない場合でも、ホルムアルデヒドに対しては一定の低減効果が予測される。

3. 住宅における実大レベルのベイクアウト実験

3-1 住宅における実大レベルのベイクアウト実験の目的

前節では、部位毎の建材レベルの実験結果により、自然放散が進んだ建材ではベイクアウトの低減効果が少ないことを把握したが、実際の室内空気中における化学物質濃度に置き換えて検討するには、実大レベルでのデータによる検討が不可欠である。そこで本節では、具体的な室内空気中の化学物質濃度で検討を行う。

3-2 住宅概要と実験対象室概要

表 6.4 に実験対象の住宅概要、表 6.5 に各住宅の実験対象室と実験内容を示す。図 6.12～図 6.17 に各室加熱機器配置図を示す。また、表 6.6～表 6.8 に各住宅の実験対象室の内装概要を示す。A 邸、B 邸、C 邸は同じ住宅メーカーの同一タイプの住宅である。10 日未Nと4 月居 B1 は LDK で間仕切りはなく、約 10 畳のリビング部分は吹き抜けである。

入居済み住宅では、実験に使用した部屋の家財道具は、全て室外に搬出している。ただし、4 月居 B1 のキッチン部分にある冷蔵庫や食器棚は未搬出であり、4 月居 B2 のクローゼット内の家財道具は未搬出である。また、2 年居 B は 2 年前に和室の床と壁を張り替えて洋室にリフォームしてあり、押し入れの家財道具は未搬出である。

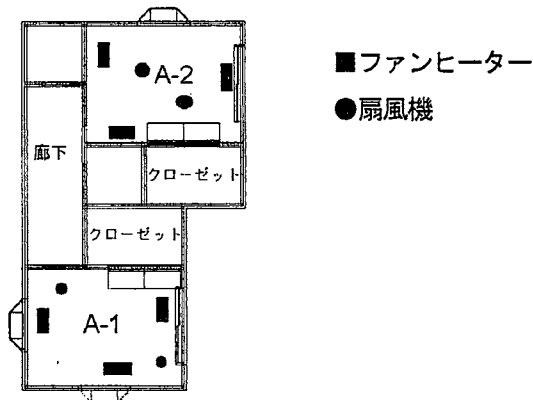


図 6.12 A 邸 2 階 A-1, A-2 洋室

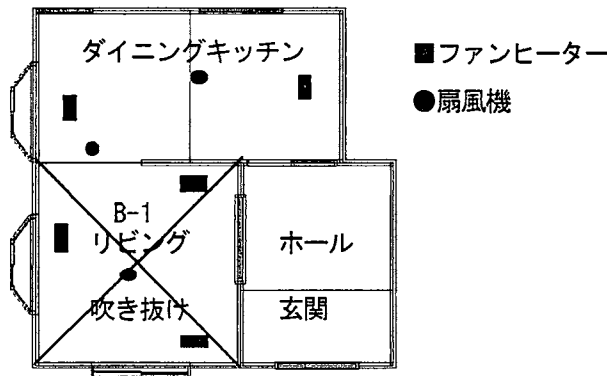


図 6.13 B 邸 1 階 B-1 リビング

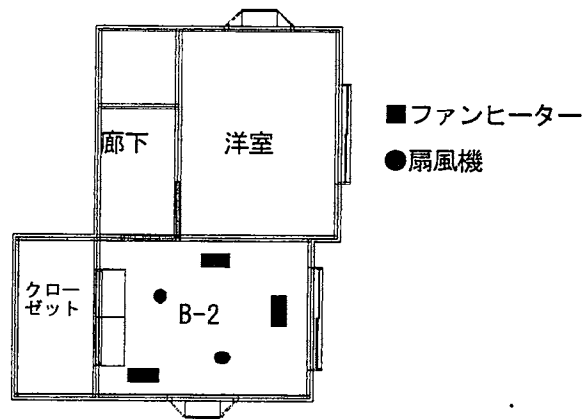


図 6.14 B 邸 2 階 B-2 洋室

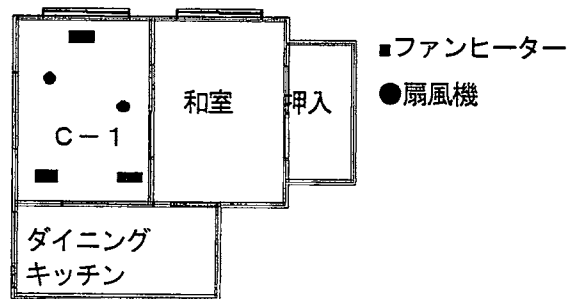


図 6.15 C 邸 2 階 C-1 洋室

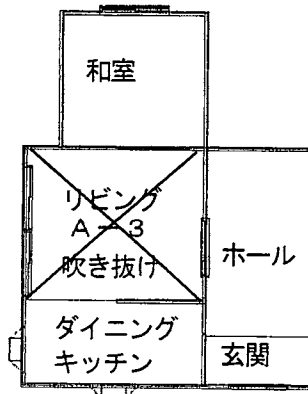


図 6.16 A 邸 1 階 A-3 リビング(ベイクアウト無し)

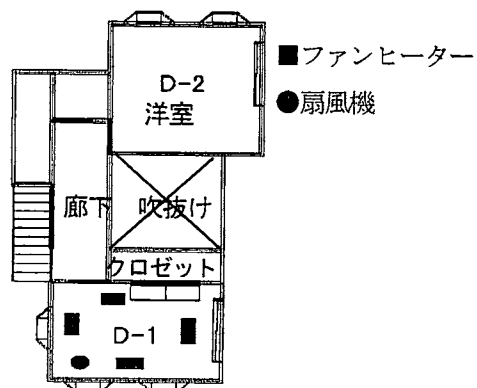


図 6.17 D 邸 2 階 D-1, D-2 洋室

表 6.6 A, B, C 邸実験対象室内装仕様

部位	使用建材
床	床板 (Fc ₀) + 下地合板 (Fc ₀)
壁	石膏ボード (E ₀) + ビニル壁紙+接着剤
天井	石膏ボード (E ₀) + ビニル壁紙+接着剤
クローゼット	床 (Fc ₀), 壁, 天井 (杉無垢板)
壁紙用接着剤	澱粉系 ノンホルムアルデヒドタイプ
造作用接着剤	酢酸ビニル樹脂系
ドア	基材合板 ラワン合板 Fc ₀

表 6.7 D 邸実験対象室内装仕様

部位	使用建材
床	ヒノキ無垢板+下地合板 (Fc ₀)
壁	石膏ボード (E ₀) + コーティング紙壁紙+接着剤
天井	杉無垢板
接着剤	不明
ドア	不明
備考	2 年前に壁, 床を現在の仕様にリフォーム

表 6.8 E 邸実験対象室内装仕様

部位	使用建材
床	床板 (F ₁) + 下地合板 (F ₁)
壁	石膏ボード (E ₀) + ビニル壁紙+接着剤
天井	石膏ボード (E ₀) + ビニル壁紙+接着剤
接着剤	不明
ドア	不明

表 6.9 加熱に使用した機器

ベイクアウト対象室	加熱機器
10 日未 B1 及び B2, 30 日未 B, 4 月居 B2, 6 年居 B	石油ファンヒーター×1, 電気ファンヒーター×2
2 年居 B	石油ファンヒーター×1, 電気ファンヒーター×2, 床暖房
4 月居 B1	石油ファンヒーター×3, エアコン×1, 電気ファンヒーター×2, 床暖房

3-3 加熱機器の検討

表 6.9 に、各部屋でベイクアウトに使用した加熱機器を示す。

加熱には電気式加熱機器のみを使用することが好ましいと考えられるが、一般的な家庭の電気契約は従量電灯 B 契約であり、契約電流は最高でも 60A であるため、実際の住宅では同時に使用できる電気量は限られている。本件における住宅では 30A~50A である。

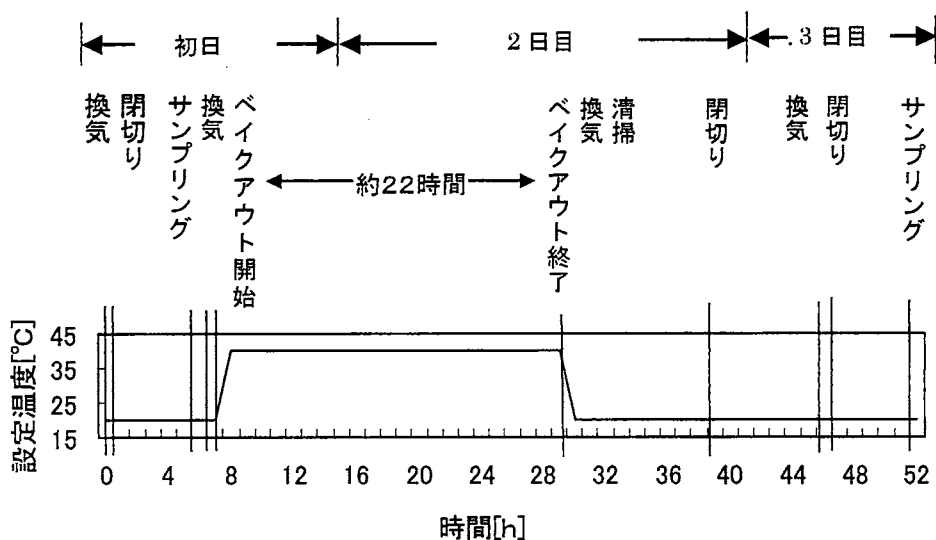


図 6.18 ベイクアウト実験工程

そこで、A 邸 6 畳の部屋において電気式加熱機器のみで昇温実験を行った。

外気温 15°C~18°Cにおいて電気ファンヒーター4 台計 3800W の加熱では、室温の上昇は約 34°Cが最高であった。気温との関係もあるが、一般的な住宅でベイクアウトを行う場合には、現実には燃焼式加熱機器を使用せざるを得ないと考えられる。

本実験に使用した住宅の契約電流は 30A~50A であること、及びより現実的な加熱手段によるベイクアウト実施を考慮して、電気式加熱機器に加えて石油ファンヒーターを使用することとした。

3-4 ベイクアウト実験概要

図 6.18 に、住宅における実大レベルのベイクアウト実験工程を示す。

- ①全開口部開口して 30 分換気を行う。
- ②全開口部を閉鎖して約 5 時間閉め切り。
- ③実験初日の VOCs 及び HCHO 濃度測定：図表中は「初日濃度」と記す。
- ④全開口部開口して 30 分間換気を行う。
- ⑤全開口部閉鎖して設定温度 40°Cでベイクアウト開始。
- ⑥実験対象室のみ外部への開口部開口して 10 分間換気した後、開口部を閉鎖してベイクアウト続行
- ⑦ベイクアウト終了。全開口部を開口して約 8 時間~9 時間換気を行う。床と壁を清掃及び扇風機でフラッシングを行う。
- ⑧全開口部を開口して 30 分間換気を行う。
- ⑨全開口部閉鎖して約 5 時間閉め切り。
- ⑩実験 3 日目の VOCs 及び HCHO 濃度測定：図表中は「3 日目濃度」と記す。

③⑩の測定は、ベイクアウトを行う部屋と測定のための部屋の両方で実施している。ベイクアウト実施時は、主に極端な乾燥による建材の反り等を防止する目的で、水を入れた直

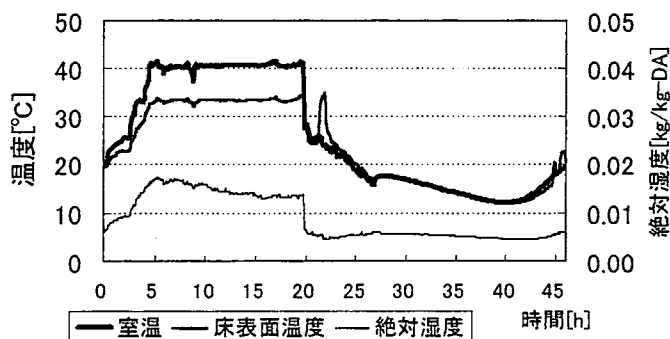


図 6.19 10 日未 B1 初日測定以後の温度・絶対湿度推移

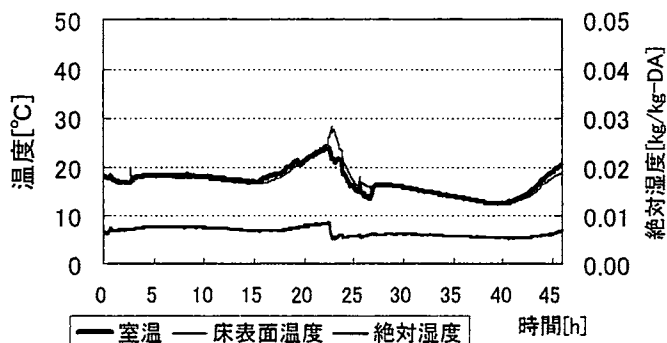


図 6.20 10 日未 N 初日測定以後の温度・絶対湿度推移

径 25cm 程度のトレーを 6 畳及び 8 畳の部屋では各 2 カ所，18 畳の部屋には 3 ヶ所設置している。また，測定のための部屋においても，ベイクアウトを行う部屋と同じ工程で開口部の開け閉めを行っている。さらに，各部屋は室内空気を均一に拡散できるように，扇風機で攪拌している。

3-5 ベイクアウト実験中の温湿度推移

図 6.19 と図 6.20 に初日測定以後の温湿度の推移を示す。

ベイクアウトを行った全ての部屋の温度と絶対湿度の推移は近似しているため，10 日未 B1 の温度と湿度推移のみを示す。また，VOCs 及び HCHO 濃度測定時の室温は，約 20℃～約 22℃である。

3-6 測定分析方法

VOCs には，固層吸着溶媒抽出-GC/FID 法を用いている。サンプリングは，活性炭チューブを 2 本連結して 500mL/min で 30 分間行っている。破かの検討は 2 本目の活性炭チューブで行った。GC/FID の設定は，表 6.2 と同一である。

HCHO には，簡易型の AHMT 法を用いている。付属の比色計を用いた試験管による吸光輝度の読み取りには，指示値の変動が指摘されているため¹²⁾，10 回の読み取りを行い，最高値と最低値を除いた 8 回の平均値を測定値としている。

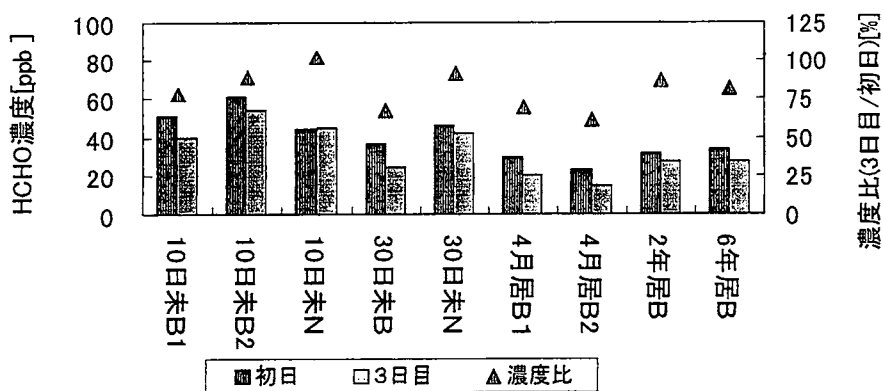


図 6.21 HCHO 濃度と初日濃度と 3 日目濃度の比

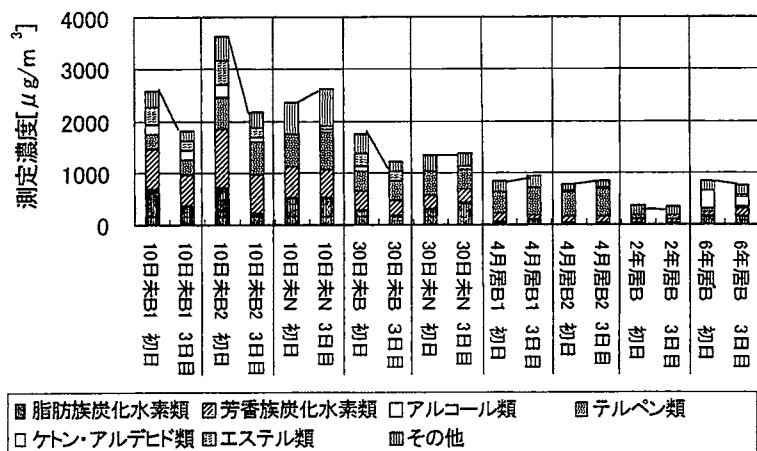


図 6.22 各部屋の初日と 3 日目の VOCs 分類別積算濃度

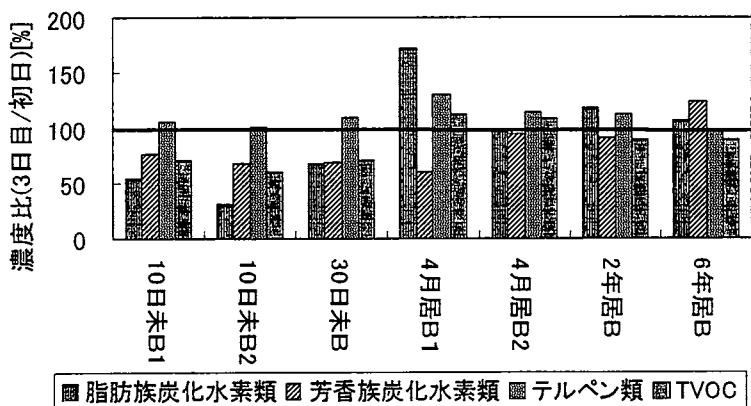


図 6.23 ベイクアウト前後の化学物質濃度比

3-7 測定結果

図 6.21～図 6.23 に測定結果を示す。

図 6.21 に示す、ベイクアウトを行った部屋の HCHO の 3 日目濃度は、2 年居 B を除き、初日濃度と比較して 20%以上低減しており、特に 4 月居 B1 及び B2 では 70%以下に低減している。

図 6.22 に、VOCs 分類別積算表示した TVOC 濃度で測定結果を示す。

全体的には、脂肪族炭化水素類、芳香族炭化水素類、テルペン類が多く検出されている。10 日未 B1 及び B2, 30 日未 B では脂肪族炭化水素類、芳香族炭化水素類の合計が、TVOC の 40%以上を占めている。これらの部屋では、3 日目濃度は初日濃度よりも 30%以上低減している。それ以外の部屋では、ベイクアウトの有無にかかわらず、余り大きな変化はない。6 年居 B 初日ではケトン・アルデヒド類の濃度が TVOC 中の約 50%を占めているが、実験 3 日前に溶剤を使用した作業が行われており、その影響と考えられる。

図 6.23 に、ベイクアウト前後の化学物質濃度比を示す。

VOCs 分類の内、テルペン類と全ての部屋で検出濃度が高い脂肪族炭化水素類、芳香族炭化水素類、及び TVOC の初日濃度に対する 3 日目濃度の比を示している。10 日未 B1 及び B2, 30 日未 B ではテルペン類以外は 30%以上低減している。ベイクアウト後のテルペン類は、全ての部屋でほとんど変化していないか若干増加している。

以上の他、表面水分計により各部屋の床の含水率も計測した。ベイクアウト前の含水率は 15%~16%で、ベイクアウト直後では 12%~13%であった。また、建材の反り、剥がれ、色落ちは無かった。

3-8 住宅における実大レベルのベイクアウト実験の考察とまとめ

住宅におけるベイクアウト実験では、具体的な室内空気中の化学物質濃度によって検討しているが、大略的には試験片における実験結果と同様な傾向である。

(1)HCHO 濃度について、ベイクアウトを行った部屋では、履歴や居住の有無に関係なく約 20%~40%低減している。HCHO は気温との相関が高いため、測定時の気温の影響を考慮する必要があるが、濃度が 30ppb 程度でも、ベイクアウトの実施により 20%程度低減できる可能性がある。そのため、室温 25℃における厚生労働省のガイドライン値 80ppb を問題とする場合においても、ベイクアウトによる低減が期待できる。

(2)初日の TVOC 濃度が $1700 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上である部屋では、ベイクアウト後の濃度：3 日目濃度は、少なくとも約 30%低減している。これは、初日の TVOC 濃度中に占める脂肪族炭化水素類及び芳香族炭化水素類の割合が約 40%~60%以上であり、脂肪族炭化水素類と芳香族炭化水素類の初日濃度に対する 3 日目濃度の比では約 70%~30%と最も低減しており、TVOC 濃度低減への寄与が大きいためである。TVOC 中に占める化学物質の種類や測定時の室温にもよるが、ベイクアウト前濃度が $1700 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上では、ベイクアウトによる明確な TVOC 濃度の低減が期待できると考えられる。

一方、野崎らの報告には、竣工後 3 ヶ月の RC 造集合住宅のベイクアウト実験で、ベイクアウト前の TVOC 濃度が $2000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上でも、ベイクアウト後に 6 時間の換気を行った後の TVOC 濃度が約 10%増大した事例もある³⁾。しかし、同じく野崎らの試験片レベルの実験において、コンクリートの場合は 6 時間換気では冷却が不十分であり、蓄熱による化学物質放散促進持続の可能性が指摘されており⁴⁾、RC 造集合住宅のベイクアウト実験におけるベイクアウト後の TVOC 濃度上昇の原因と考えられる。

本実験のベイクアウト対象は木造住宅であり、コンクリート造と比較して熱容量が小さく冷却されやすいと考えられること、及びベイクアウト後の換気を外気温と床面温度がほぼ同程度になった後、さらに 1 時間の換気を行い、換気時間が 8 時間~9 時間に及ぶ事等

の理由から、ベイクアウト結果に相違が出ていると考えられる。

テルペン類はベイクアウトの有無や履歴に関係なく、初日濃度と3日目濃度でほとんど変化していないか若干増加しており、試験片による実験結果と同じ傾向である。テルペン類は木材自身の成分であり、より強く木材と結びついているためと考えられる。

(3)ベイクアウト後のTVOC濃度低減が10%以下である部屋は全て入居済みの住宅である。初日のTVOC濃度は、最高でも $800\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下であり、生活に伴う換気により化学物質の放散が進んでいると考えられる。TVOC濃度低減には脂肪族炭化水素類や芳香族炭化水素類の低減の寄与が大きいですが、入居済みの部屋では、脂肪族炭化水素類や芳香族炭化水素類の濃度が低く、ベイクアウト後にTVOC濃度が30%以上低減した部屋の初日における脂肪族炭化水素類と芳香族炭化水素類の合計濃度の25%以下である。藤村らの報告⁹⁾から考慮すると、自然放散が進み、化学物質放散が建材表面及び表面近傍の化学物質放散に左右される時期が経過しており、その結果、ベイクアウトによる低減が少ないと考えられる。

一方、TVOC濃度 $800\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下において、ベイクアウトによる低減が明確である報告もなされている。野崎らによる竣工後2ヶ月のSRC造集合住宅のベイクアウトにおいて、ベイクアウト前のTVOC濃度が $700\mu\text{g}/\text{m}^3$ の部屋で、ベイクアウト後に51%の低減、 $460\mu\text{g}/\text{m}^3$ の部屋で19%の低減が報告されている¹⁴⁾。これらの場合は、測定時の室温が 10°C であり、本実験における測定時の室温 20°C 以上と比較してかなり低い。測定時の室温が 20°C 以上であったならば、ベイクアウト前のTVOC濃度はより高くなっていたと考えられる。さらに、この場合でも、ベイクアウト前の脂肪族炭化水素類及び芳香族炭化水素類の合計はTVOC濃度の約70%~80%を占めている。

ベイクアウト実施の可否検討においては、TVOC濃度の他、脂肪族炭化水素類、芳香族炭化水素類の合計濃度やTVOC中に占める割合、測定時の室温も考慮する必要があると考えられる。

本実験の数値で検討すると、室温 20°C 前後において、TVOC濃度 $800\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下で、脂肪族炭化水素類や芳香族炭化水素類の合計がTVOC濃度の25%以下の場合は、TVOC濃度で10%以上の低減は期待できないといえる。したがって、厚生労働省のガイドライン値 $400\mu\text{g}/\text{m}^3$ を問題とするような場合は、慎重な検討が必要である。

4. 本章のまとめ

本章の結果をまとめる。

1. 建材レベルの実験から、ベイクアウトによる低減は試験片の種類に関係なく、建材の履歴や表面及び表面近傍の化学物質量がベイクアウト効果を左右することを確認した。
2. 木造住宅等の室内において、室温 20°C 程度におけるTVOC濃度が $1700\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上の場合、加熱温度 40°C 、加熱時間24時間以上のベイクアウトによって、TVOC濃度で約30%の低減が期待できると考えられる。ただし、TVOC中に占める脂肪族炭化水素類、芳香族炭化水素類及びアルコール類の合計が約40%~60%以上を前提とする。
3. 本実験結果によれば、木造住宅等の室内において、室温 20°C 程度におけるTVOC濃度が $800\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下で、脂肪族炭化水素類、芳香族炭化水素類及びアルコール類の合計が

TVOC 濃度の 25%以下である場合は、加熱温度 40℃、加熱時間 24 時間未満のベイクアウトを実施しても、TVOC 濃度で 10%以上の低減は期待できない。そのため、厚生労働省のガイドライン値 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を問題とするような場合は、慎重な検討が必要である。

4. ホルムアルデヒド濃度が低減目的である場合は、室温 25℃における厚生労働省のガイドライン値 80ppb を問題とする場合は、ベイクアウトによる低減が期待できる。

実際の状況は、住宅工法の相違、内装の一部のみの改装、建材の相違、生活状況の相違、自然環境の相違等により多様であるため、本研究結果が一様に適合するとは限らない。しかし、室内空気質汚染低減作業に際して、それぞれの住宅で、ここに挙げた諸条件を把握できるならば、本実験結果はベイクアウト実施の可否判断に対して、十分な判断材料を提供出来ていると考える。

【参考文献】

- 1)国民生活センター：「健康住宅」に関する調査，1998.4
- 2)石川哲，宮田幹夫：化学物質過敏症，かもがわ出版，1999
- 3)野崎淳夫，飯倉一雄，吉澤晋，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の効果(その1)，日本建築学会計画系論文集，No.530，pp.61~66,2000.4
- 4)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，平成12年度室内環境学会総会講演集，pp.50~51,2000.12
- 5)野崎淳夫，坊垣和明，吉澤晋，藤井修二，飯倉一雄：部材レベルの室内化学物質発生に関する研究(1)，日本建築学会大会学術講演梗概集D-2，pp.821~822,2000.9
- 6)野崎淳夫，坊垣和明，飯倉一雄，藤井修二，吉澤晋：部材レベルの室内化学物質発生に関する研究(2)，日本建築学会大会学術講演梗概集D-2，pp.823~824,2000.9
- 7)小竿真一郎，入江建久，堀雅宏：ベイクアウトによる室内空気汚染制御，日本建築学会大会学術講演梗概集D2，pp.783~784,1999.9
- 8)Ozao, Irie, Hori, Kyo: Experimental Study Concerning the Reduction of Indoor Formaldehyde Concentrations by Bake Out process, Proc. of the 7th International Conference on INDOOR AIR QUALITY AND CLIMATE, Vol.3, pp.625~631, 1996. Jul.
- 9)藤村淳一，近藤靖史，村上周三，加藤信介，伊藤一秀，山本明：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3)ミクロ・マクロモデルによる建材内濃度分布予測およびベイクアウトの評価，日本建築学会大会学術講演梗概集D-2，pp.695~696,1999.9
- 10)熊野康子，石川一雄：新築集合住宅におけるベイクアウトと換気によるTVOCの低減効果について，日本建築学会大会学術講演梗概集D-2，pp.771~772,2000.9
- 11)村上周三，加藤信介，伊藤一秀：床材からの内部拡散支配型物質放散に対する材料温度の影響と換気除去効果，日本建築学会計画系論文集，No.523，pp.63~69,1999.9
- 12)長谷川麻子，小峯裕己，松村年郎：住宅内ホルムアルデヒド(HCHO)汚染の現場計測方法に関する研究，日本建築学会計画系論文集，No.531，pp.53~58,2000.5
- 13)厚生労働省：シックハウス(室内空気汚染)問題に関する検討会中間報告書—第1回～第3回のまとめ—について，別添2室内空气中化学物質の採取方法と測定方法，2000.6
- 14)野崎淳夫，堀雅宏，池田耕一，飯倉一雄，吉澤晋：ベイクアウトによる低ホルマリン仕様住宅でのホルムアルデヒド，VOCの発生量率に関する研究 ホルムアルデヒド，揮発性有機化合物による室内空気汚染に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集D-2，pp.819~820,1998.9
- 15)小竿真一郎，入江建久：新築病対策の一提案(ベイクアウト手法によるホルムアルデヒドの除去)，日本マンション学会第5回大会研究報告集，pp.28~29,1996.4

第 7 章

総括

第2章から第6章まで、実態の把握からベイクアウトによる対処法に至る、化学物質による室内空気質汚染に関連する研究成果を記した。

第2章では、アンケート調査により、化学物質による室内空気汚染に起因すると考えられる健康障害をもつ居住者の全体像を把握して、健康被害者のプロファイル的なまとめを行った。

回収率が18%台と低いため、室内空気質汚染に興味がある世帯や、既に何らかの罹患者がいる世帯から回収されたアンケートが占める割合が高かったと考えられる。そのため、図2.11における罹患率は、実際の数字よりも大きく出ている可能性もある。ただし、罹患者の健康被害は、本章で報告したように複数の症状を訴える場合が多い。在宅時間の長い幼児の罹患も多く、育児で忙しい母親の罹患も多かった。

幼児期における罹患は成長過程でどのような影響を与えるか現段階で断定は出来ないが、治療が困難なことから将来の健全な発育の阻害が懸念される。幼児を育てる立場の母親も同時に罹患していることが多いため、一層の対応策が必要である。

第2章のまとめにおいて、健康な住まい方の知識不足を指摘したが、十分な知識を得ることによって健康障害を回避することは可能である。

健康な世帯が、化学品やタバコの抑制よりも、換気に注意を払っていることは注目に値する。罹患者の多くは、罹患前に比較的高濃度の室内空気汚染を経験していることが多いが、健康な世帯の換気に対する注意が室内空気中の化学物質濃度を低減し、結果として罹患に至っていないと考えられる。

また、罹患者のいる世帯は都市部や築齡が若い住宅に居住している場合が比較的多かったが、人口の都市部への集中や、それに伴う都市近郊の新築住宅の増加など、今後一層注意して観察すべきではないだろうか。

第3章では、実際の住宅を未入居状態で測定し、居住者の生活状況に影響されない状態の、建築物自体の室内空気質状況を把握した。これまで、湿度と化学物質濃度の関係は、ホルムアルデヒドを除き不明瞭な評価であった。しかし、SPSSなど統計学的分析によって、一義的には温度により左右されるが、温度が一定の場合では、湿度が化学物質の濃度に影響を与えることを明らかにした。

室内における必要以上の湿度は、結露のみならず、化学物質による室内空気汚染をも助長する。建築時の湿度に対する注意や、結露防止は室内空気質を清浄に保つためにも必要であるといえる。

また、工業的な理由から使用されているトルエンやキシレン等芳香族炭化水素と、木そのものが持つ天然成分であるテルペン類が互いにTVOC濃度中大きな割合を占めるが、その出現には一方が多いと他方が少ない事が多いという興味深い関係が見られた。履歴や、気温等の影響もあったと考えられるが、無垢材も合板も使用された、ほぼ同じ仕様の住宅におけるデータであるだけに、今後も測定数を増やし、さらに検討を行いたい。

第4章では、室内において放散源が特定可能な、簡易測定法を提案した。近年、測定技術が研究されているが、その内容は、精密測定に関するものが多く、詳細に汚染物質を同定・定量することが可能になる一方で、高度な技術が要求されるようになってきている。対処の迅速さが必要な場合や、測定技術者がいない場合は、精密測定を実施できないこともありうる。また、実際の活動を通じてみると、地場住宅メーカー、中小工務店、居住者レベルでは、ppb オーダーの違いを検討するよりも、単に原因の特定を求められることが多い。測定値の真の値に対する確からしさは重要である。しかし、厚生労働省の「シックハウス(室内空気汚染)問題に関する検討会 中間報告書第6回・第7回のまとめ」の「室内空気中化学物質の測定マニュアル」において指摘されているように、求められるレベルに応じた測定が必要であろう。

本章の簡易測定法は、簡易性、迅速性、経済性に重点をおいている。概略的な原因部位の特定や、即応性を求められるよう現場では、十分な結果を出すことができると思われる。

第5章、第6章では、室内空気質汚染対策としてのベイクアウトの低減効果を検証した。ベイクアウトは、室内空気質汚染に有効に対処できるが、一方で、時間の経過や、生活環境によって、既にある程度低濃度であるような場合は、低減効果が余り期待できないことも明らかになった。本章の研究結果は、室内空気質汚染対策を実際に検討する場合、低減方法としてベイクアウトを考慮する場合、有意義な研究結果になると考える。

以上、本論文の研究結果をまとめた。

室内空気質汚染問題は、各方面で急速に研究が行われている。本論文の冒頭に述べたように、室内空気質の解明と対策には、広範な分野の研究成果と連携が不可欠である。省エネルギーの要請と、健康な生活ができる住宅の両立のためには、一方向の立場や知識によらず、あらゆる立場の考え方と、より多くの知識による室内空気質汚染の解明と対応策の確立が急務である。

本論文に関する発表論文

【論文】

- 1) 野田耕右, 酒井孝司, 石原修: ベイクアウトによる建材からの化学物質放散量低減効果の検証, 日本建築学会計画系論文集, pp.55~62,2002.2
- 2) 野田耕右, 酒井孝司, 石原修: 建物内建材表面からのホルムアルデヒド放散量簡易測定法の研究, 日本環境管理学会環境の管理第 28 号, pp.29~36,2000.3
- 3) Kousuke Noda,Kouji Sakai,Osamu Ishihara: Analysis of the indoor air pollution in the new residences, Proceedings of the 8th international symposium on Building and Urban Environmental Engineering and Management,pp.25~32,2001.10
- 4) Kousuke Noda, Osamu Ishihara : Reduction effect of the Chemical substance by the Bake-out in the Indoor Air Contamination, The 10th International Conference on Environmental Ergonomics Fukuoka, Japan, September, 2002 (Accepted)
- 5) 野田耕右, 石原修: ベイクアウトによる建材に含まれる化学物質の低減, 日本建築学会計画系論文集 (投稿中)
- 6) 野田耕右, 原田 幸一, 原邦夫, 上田厚, 石原修: 新築住宅における化学物質による室内空気質汚染の調査, 日本環境管理学会論文集 (投稿中)
- 7) 野田耕右, 石原修: 戸建て木造住宅におけるベイクアウトによる室内空気汚染対策の効果, 日本建築学会技術報告集 (投稿中)

【講演】

- 1) 野田耕右, 石原修: オフィス内における HCHO 汚染の空調機器などによる緩和効果, 日本環境管理学会, 第 11 回研究発表会, pp.25~28, 1998.12
- 2) 野田耕右, 塩田恵美, 酒井孝司, 石原修: 小型ベイクアウト試験装置を使用した建材へのベイクアウト効果の研究, 日本建築学会九州支部, 研究報告 第 39 号環境系, pp.317~320, 2000.3
- 3) 野田耕右, 塩田恵美, 酒井孝司, 石原修: 住宅等室内における部材からの HCHO 放散量の簡易な測定法, 日本建築学会九州支部, 研究報告 第 39 号環境系, pp.321~324, 2000.3
- 4) 塩田恵美, 野田耕右, 酒井孝司, 石原修: 室内空気質汚染と健康被害に関する調査研究, 日本環境管理学会, 第 12 回研究発表会, pp.9~12, 1999.10
- 5) 塩田恵美, 野田耕右, 酒井孝司, 石原修: 化学物質による室内空気質汚染に関する研究 その 1 ベイクアウトによる室内化学物質汚染軽減効果, 日本建築学会九州支部, 研究報告 第 39 号環境系, pp.313~316, 2000.3
- 6) 野田耕右, 塩田恵美, 酒井孝司, 石原修: 小型ベイクアウト試験装置を使用したベイクアウトの効果, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D2, pp.773~774, 200.9
- 7) 塩田恵美, 野田耕右, 酒井孝司, 石原修: 化学物質による室内空気質汚染の研究 その 1 戸建て住宅における室内空気質の実測調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D2, pp.739~740, 2000.9
- 8) 塩田恵美, 野田耕右, 酒井孝司, 石原修: 室内空気質汚染と健康被害に関する調査研究 その 2 熊本市における新築住宅の実測調査, 日本環境管理学会第 13 回研究発表会, pp.69~72, 2000.10
- 9) 野田耕右, 塩田恵美, 酒井孝司, 石原修: ベイクアウトにおける建材相互の影響, 日本環境管理学会第 13 回研究発表会, pp.73~76, 2000.10
- 10) 野田耕右, 塩田恵美, 酒井孝司, 石原修: 建材の化学物質放散速度及び含有量のベイクアウトによる減少効果, 日本建築学会九州支部, 研究報告 第 40 号環境系, pp.381~384, 2000.3
- 11) 塩田恵美, 野田耕右, 酒井孝司, 石原修: 化学物質による室内空気質汚染に関する研究 その 2 戸建て住宅における室内空気質の実態調査, 日本建築学会九州支部, 研究報告 第 40 号環境系, pp.385~388, 2000.3
- 12) 山口英知, 塩田恵美, 野田耕右, 酒井孝司, 石原修: 化学物質による室内空気質汚染に関する研究 その 3 機械換気の有用性, 日本建築学会九州支部, 研究報告 第 40 号環境系, pp.389~392, 2000.3

- 1 3) 山口英知, 野田耕右, 酒井孝司, 石原修: 建材のホルムアルデヒド放散量と含有量のベイクアウトによる減少効果, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D2, pp.879~880,2001.9
- 1 4) 野田耕右, 酒井孝司, 石原修: 新築戸建て住宅における室内空気質の実態調査, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集Ⅱ, pp.653~656,2001.9
- 1 5) 野田耕右, 酒井孝司, 石原修: 化学物質による室内空気汚染の研究-その4 新旧住宅におけるベイクアウトによる化学物質濃度低減効果, 日本建築学会九州支部, 研究報告 第41号環境系, pp.169~172,2002.3
- 1 6) 野田耕右, 酒井孝司, 石原修: 建材の化学物質放散速度及び含有量のベイクアウトによる減少効果, 日本建築学会九州支部, 研究報告 第41号環境系, pp.173~176,2002.3

【資料】

なし

謝辞

本研究を行うにあたり、文系出身である私の指導を快くお引き受けいただきました熊本大学工学部教授 石原修先生に心からお礼を申し上げます。少々近付き難いと言え感じられるその媚の無い姿勢は、まさしく“肩で風切る”を体現しているかのようで、侍もかくありなんと感じられました。同じく熊本大学工学部助手(当時、現在：大分大学工学部 講師)酒井孝司先生には、私の拙稚な文章をまともな文章になるまで投げ出すことなくご指導いただき、本論文が多少とも文章たりえるのは、その賜物であるかと思います。

横浜国立大学教育人間科学部教授 堀雅宏先生には、理系研究の面白さを教えていただき、本論文の研究をはじめのきっかけと、その後の様々な助言を頂きました。特に、研究に際しての“機に臨みて変に応じる”の心得は、今後も大事にしていきたいと思っています。

環境科学研究熊本協同組合の役員の方々には公私に渡り多くの助力を頂きました。

また、熊本大学工学部の学部生及び大学院生の諸氏のご協力無しには、多くの実験をまとめることも困難であったかと思っています。

以上の他、実に多くの方々の助けを頂きました。

最後に、営業成績偏重気味の一社員でありました私に、忍耐と寛容そして共生を説いていただき、また事業的には環境問題解決と産業的発展の両立を目指しながら、志なかばで他界されました“社長”，故：田中一成氏^註に、本論文完成のご報告と心からの感謝を申し上げます。

注：飯塚電機工業株式会社 前代表取締役社長 ～2000年12月
株式会社エコテックシステムセンター 前代表取締役社長 ～2000年12月
環境科学研究熊本協同組合 初代理事長 ～2000年12月
シヴィリアンエコリサーチ株式会社 前代表取締役社長 ～2000年12月