

論文 / 著書情報
Article / Book Information

| | |
|-------------------|---|
| 論題(和文) | 仙台市内の応急仮設住宅における室内化学物質汚染の実態 |
| Title(English) | Field Investigation on Indoor Chemical Pollution in Temporary Houses in Sendai City |
| 著者(和文) | 鍵直樹, 吉野博, 長谷川兼一, 柳宇, 東賢一, 大澤元毅 |
| Authors(English) | Naoki Kagi, Hiroshi Yoshino, Ken-ichi Hasegawa, U Yanagi, Kenichi Azuma, Haruki Osawa |
| 出典(和文) | 日本建築学会環境系論文集, Vol. 81, No. 729, pp. 979-985 |
| Citation(English) | Journal of Structural and Construction Engineering (Transactions of AIJ), Vol. 81, No. 729, pp. 979-985 |
| 発行日 / Pub. date | 2016, 11 |
| 権利情報 | 日本建築学会 |
| Relation | https://www.jstage.jst.go.jp/article/aije/81/729/81_979/_article/-char/ja |
| Note | 本文データは学協会の許諾に基づきJ-STAGEから複製したものである |

仙台市内の応急仮設住宅における室内化学物質汚染の実態

FIELD INVESTIGATION ON INDOOR CHEMICAL POLLUTION
IN TEMPORARY HOUSES IN SENDAI CITY鍵 直樹*, 吉野 博**, 長谷川 兼一***,
柳 宇****, 東 賢一*****, 大澤 元毅*****Naoki KAGI, Hiroshi YOSHINO, Kenichi HASEGAWA,
U YANAGI, Kenichi AZUMA and Haruki OSAWA

The Great East Japan Earthquake had occurred on March 11th in 2011. There were serious damages in Tohoku and Kanto district, especially seaside cities of the Pacific Ocean in Tohoku district by tsunami. Many people in these areas had lost their houses and more than fifty thousand temporary houses were built in three prefectures of the Tohoku district. Several problems, such as indoor thermal environment and indoor air quality as well as sound environment problems might be occurred in temporary houses.

This study aimed to investigate the indoor air quality, especially indoor volatile organic compound (VOC) concentrations in the temporary residential houses. In summer in 2011 and winter in 2012, measurements have been conducted in the temporary houses in Sendai and measuring results were compared with guideline value in Japan. As a result, total VOC (TVOC) concentrations in the most houses were over tentative guideline value in Japan, 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Keywords : Indoor air quality, Volatile organic compounds, Temporary house

室内空気質, 揮発性有機化合物, 応急仮設住宅

1. はじめに

新築住宅におけるシックハウス症候群の原因として、内装材料や什器から発生する室内空気汚染物質の中でも揮発性有機化合物 (Volatile Organic Compounds: VOC) が挙げられている。室内で使用されている建材からの化学物質の発生に加え、住宅の気密化による換気量の減少により、室内空気中に汚染物質が滞留し、室内化学物質濃度が上昇したことによって引き起こされた居住者の健康被害である。この対策として、厚生労働省から1996年よりホルムアルデヒドなど13種類の化学物質の指針値とTVOC(総揮発性有機化合物)の暫定目標値が示された。更に2003年の建築基準法の改正では、ホルムアルデヒド発散建材の使用制限及び24時間機械換気の義務化などが規定された。これにより、指針値に示されている化学物質については、内装材料の発生量が抑制され、換気が確保されたことから、新築住宅では室内空気質を良好な状態に維持できるようになった。住宅の化学物質汚染の実態調査については、全国における4,000住戸を超えるホルムアルデヒド、トルエン、キシレン、エチルベンゼン濃度に関する実態調査¹⁾がある。更には国土交通省により大規模な新築住宅における室内空気中の主要な化学物質濃度の実態調査²⁾が2000年度より6年間継続して行われてきた。結果として、主要な化学物質の濃度が指針値を超過する割合及びそれらの平均濃度に

ついては、低く抑えられるようになった。

2011年に発生した東日本大震災により、東北地方太平洋沿岸を中心に多くの住宅が被災し、応急仮設住宅が建築された。応急仮設住宅は、災害救助法23条の1「収容施設(応急仮設住宅を含む。)の供与」に災害救助の一環として規定されているものである。そのため、応急仮設住宅は、建築基準法の「建築物」に当たるが、「応急仮設建築物」として、建築基準法の規定は原則適用外ではある。よって、上記のようなシックハウス症候群対策として、建築基準法で規定された内装材料の制限や換気設備の義務化などには当てはまらず、室内の化学物質濃度の上昇が懸念される。

しかしながら、例えば岩手県応急仮設住宅仕様基準及び福島県応急仮設住宅標準仕様書には、シックハウス対策に配慮した材料を使用することなどの記載があり、一定の配慮が伺える。また、換気設備についても、24時間換気設備とは謳っていないものの、台所、風呂、便所には換気扇を設置することになっており、居室においてもこれらの設備により一定の換気量が確保でき、通常の住宅と同等の性能を持つように努められている。ただし、応急仮設住宅には様々な種類が存在し、換気設備の稼働など住民の知識や住まい方に室内空気環境が依存していることが考えられる。

ところで、現在まで災害により多くの応急仮設住宅が建設され

* 東京工業大学 准教授・博士(工学)

** 東北大学 総長特命教授・工博

*** 秋田県立大学 教授・博士(工学)

**** 工学院大学 教授・博士(工学)

***** 近畿大学 准教授・博士(工学)

***** 国立保健医療科学院 主任研究官・博士(工学)

Assoc. Prof., Tokyo Institute of Technology, Dr.Eng.

President-appointed Extraordinary Prof., Tohoku University, Dr.Eng.

Prof., Akita Prefectural University, Dr.Eng.

Prof., Kogakuin University, Dr.Eng.

Assoc. Prof., Kindai University, Dr.Eng.

Chief Researcher, National Institute of Public Health, Dr.Eng.

たものの、応急仮設住宅における室内空気質に関する知見は、温熱環境に関するものに比べれば少ないのが現状である。その中でも、大気中から二酸化窒素の侵入³⁾、建物解体時のアスベスト飛散⁴⁾、また今回の東日本大震災に伴う宮城県内の未入居の応急仮設住宅 5 軒における揮発性有機化合物の実測調査⁵⁾、室内二酸化炭素濃度⁶⁾、微生物の現状⁷⁾、地域別の実測の知見^{8,9)}がある。

そこで本研究では、東日本大震災により建設された仙台市内の応急仮設住宅の室内空気質、特に化学物質の特徴を把握することを目的に、入居中における夏期及び冬期の応急仮設住宅内の室内空気中における VOC、空気中及びハウスダスト中の準揮発性有機化合物 (Semi Volatile Organic Compound: SVOC) の測定を行い、その特徴及び高濃度となった原因について検討した。

2. 調査方法

2.1 測定対象住宅

本調査で測定した応急仮設住宅は、Table 1 に示す仙台市に建設された建物で、夏期 40 軒、そして冬期においても同じ住宅のうち 17 軒の居間を対象とした。1 住宅につき複数部屋ある場合には、独立して使用している場合には 2 箇所、2 部屋を 1 部屋として使用している場合には 1 箇所測定を行った。夏期の実測調査は、建設直後の 2011 年 7 月後半より 10 月、冬期は 2012 年 3 月に順次行われた。対象とした住宅は、地区毎にメーカー、竣工時期などが異なっている。いずれの住宅においても、台所、浴室、トイレに排気ファンが設置されていた。本研究では、応急仮設住宅の特徴から 2 種類のタイプに分類した。プレハブ建築協会規格建築部会会員製の住宅 (以下 Type 1) は、規格化された部材を用いて建築されるもので、工場や倉庫などの応急的な建物に使用されている。この住宅については各部屋には給気口はないことから、台所等の排気ファンの使用により各部屋の隙間から流入して、換気されているものと考えられる。なお、このタイプの住宅には天井裏に換気設備が備え付けられているが、これは居室の換気に使用されるものではなく、冬期に小屋裏で発生する結露を防止するためのものである。一方、プレハブ建築協会規格住宅部会会員製の住宅 (以下 Type 2) は、一般的な住宅に用いる部材を用いた仕様で、換気対策としては居室外壁に面している壁に給気口が設けてあるため、台所等の排気ファンにより各部屋の換気が行われるように計画されている。また、冬期の測定を行った住宅においては、暖房器具の VOC 発生を考慮し、燃焼による排ガスのないエアコン・電気ストーブを使用しているか、開放型の石油・ガスストーブを使用しているかを確認し、Table 1 に示している。

2.2 測定方法

空気中の VOC の測定には、30 分程度のアクティブサンプリング法により行った。居住状態であれば、室内の平均濃度として 24 時間のパッシブサンプリング法もあるが、本研究では実測に際し、短時間にその他の測定項目と平衡して行うために、短時間で採取できるアクティブサンプリング法を選択した。なお居住者の方には、通常の住まい方 (換気扇の使用の有無など) を行いながら、事前には窓開け換気を行わず、室内が暑い場合、寒い場合には普段用いている冷暖房設備を使用して頂くように要請し、室内換気条件の統一を図った。

捕集及び分析については、ホルムアルデヒドなどのカルボニル化

Table 1 Outline of temporary houses measured in this study

| ID | Room layout | Type | Heating appliance | | Measurement | |
|------|-------------|------|-------------------|-----|-------------|--------|
| | | | Stove | A/C | Summer | Winter |
| 2 | 2DK | 2 | | | ○ | |
| 3,23 | 2DK+2DK | 2 | | | ○ | |
| 4 | 2DK | 2 | | ○ | ○ | ○ |
| 6 | 2DK | 2 | | | ○ | |
| 8 | 2DK | 2 | | | ○ | |
| 9 | 2DK | 2 | | ○ | ○ | ○ |
| 21 | 2DK | 2 | | | ○ | |
| 22 | 2DK | 2 | | ○ | ○ | ○ |
| 25 | 2DK | 2 | ○ | | ○ | ○ |
| 26 | 2DK | 2 | ○ | | ○ | ○ |
| 29 | 2DK | 2 | | | ○ | |
| 36 | 2DK | 2 | | ○ | ○ | ○ |
| 44 | 2DK | 2 | | | ○ | |
| 45 | 2DK | 2 | | | ○ | |
| 49 | 2DK | 2 | | | ○ | |
| 53 | 2DK | 2 | | | ○ | |
| 58 | 2DK | 2 | | ○ | ○ | ○ |
| 60 | 2DK | 2 | | | ○ | |
| 63 | 2DK | 2 | | | ○ | |
| 64 | 2DK | 2 | | | ○ | |
| 65 | 2DK | 2 | ○ | | ○ | ○ |
| 66 | 2DK | 2 | | ○ | ○ | ○ |
| 76 | 2DK | 1 | ○ | | ○ | ○ |
| 78 | 2DK | 1 | ○ | | ○ | ○ |
| 79 | 1DK | 1 | | | ○ | |
| 81 | 1DK | 1 | | ○ | ○ | ○ |
| 83 | 2DK | 1 | | ○ | ○ | ○ |
| 89 | 1DK | 1 | ○ | | ○ | ○ |
| 91 | 3K | 1 | | | ○ | |
| 102 | 2DK | 2 | | | ○ | |
| 103 | 2DK | 2 | | | ○ | |
| 111 | 2DK | 1 | | ○ | ○ | ○ |
| 115 | 3K | 1 | | ○ | ○ | ○ |
| 117 | 1DK | 1 | | | ○ | |
| 118 | 2DK | 1 | ○ | | ○ | ○ |
| 122 | 2DK | 1 | | | ○ | |
| 127 | 2DK | 1 | | | ○ | |
| 130 | 2DK | 1 | | | ○ | |
| 133 | 2DK | 1 | | | ○ | |
| 146 | 3K | 1 | | | ○ | |

合物には、DNPH カートリッジにより 1 L/min. で 30 分程度の捕集を行い、溶媒抽出後 HPLC により分析した。また、その他の VOC 及びガス状 SVOC については、TenaxTA を用いて 0.1 L/min. で 30 分程度の捕集を行い、加熱脱着法で GC/MS に導入し、分析した。TVOC 濃度は、日本建築学会基準¹⁰⁾に従い、ヘキサンからヘキサデカンまで検出されたピークの合計をトルエン換算して算出した。また、参考までにそれぞれの地区では最低 1 箇所外気の測定も行った。

ハウスダスト中に含まれる SVOC についても測定を行った。ハウスダストの採取については、掃除機ノズル先端に直接織込みろ紙を装着し、掃除機からの汚染を排除した簡便な方法とした。各住宅の居間において約 2m² を 2 分程度の採取を行い、63 μm のふるいをかけた後、ハウスダストの一部を秤量後、空の捕集管に入れ、加熱脱着装置で GC/MS に導入し、分析した。

3. 実測結果

3.1 室内空気中 VOC 濃度

Table 2 に全ての実測値における厚生労働省で指針値として示さ

Table 2 Minimum, mean and maximum concentrations of VOCs

| | Guideline | Min. | Mean | Max. |
|--------------------|-----------|-------|--------|--------|
| Formaldehyde | 100 | n.d. | 22.0 | 66.6 |
| Acetaldehyde | 48 | n.d. | 21.7 | 87.3 |
| Toluene | 260 | 3.8 | 68.6 | 276.3 |
| Ethylbenzene | 3800 | 2.7 | 16.2 | 109.7 |
| Xylene | 870 | 3.5 | 19.0 | 162.8 |
| Styrene | 220 | n.d. | 18.7 | 96.7 |
| p-dichloro Benzene | 240 | n.d. | 175.5 | 699.8 |
| Tetradecane | 330 | n.d. | 60.6 | 493.1 |
| α-Pinene | | n.d. | 88.6 | 810.4 |
| 2-ethyl-1-Hexanol | | n.d. | 92.8 | 307.9 |
| d-Limonene | | n.d. | 95.1 | 563.1 |
| TVOC | 400* | 263.2 | 1942.0 | 8923.7 |

*Tentative guideline for TVOC

n.d.: Not detected.

れている VOC 及び、α-ピネン、d-リモネン、2-エチル-1-ヘキサノール、TVOC 濃度の最小値、平均値及び最大値を示す。それぞれの物質の濃度平均値は、各指針値を大きく下回っているものの、アセトアルデヒド、p-ジクロロベンゼン、テトラデカンについては指針値を超過し、比較的高い濃度の部屋があった。TVOC の平均濃度については、暫定目標値 400 μg/m³ を大きく上回る結果となった。また、Fig.1 においては、各季節における厚生労働省に示されている VOC 濃度を箱ひげ図として表したものである(図中 x 軸に夏期:(S), 冬期:(W)と表記)。この箱ひげ図は、■が平均値を表し、各横線が下から 10, 25, 50, 75, 90 パーセントイル値を表している(以降の図でも同様に表示)。p-ジクロロベンゼン、テトラデカンについては、中央値に比べて平均値の濃度が高い傾向であった。p-ジクロロベンゼンについては、建物起因ではなく、防虫剤など居住者の持ち込みによる発生源であることから、住宅によって濃度が非常に高いところがあるなど、偏差が大きくなったと考えられる。また、テトラデカンの発生源として灯油、塗料などが考えられている。

Fig.2 にα-ピネン、d-リモネン、2-エチル-1-ヘキサノールの夏期及び冬期における濃度を示す。α-ピネン、d-リモネンについては、アセトアルデヒドと同様に木材などから発生する物質であり、他の VOC と比較しても高い値を示した。よって、アセトアルデヒドの濃度の高かった理由としては、応急仮設住宅で基礎や構造材、内装で使用されている木材が発生源となり、室内濃度を高めていることが考えられる。なお、ドイツにおけるα-ピネン、d-リモネンの指針値^{11,12)}は、200 μg/m³、1000 μg/m³であることから、一部の住宅でのみこの濃度を超過していた。また、2-エチル-1-ヘキサノールの発生源として、塩化ビニルに含まれている可塑剤の化学反応による発生が知られているが¹³⁾、台所などに施工されている塩化ビニル床シートなどが影響して検出していることも考えられる。ドイツにおいては2-エチル-1-ヘキサノールの指針値¹⁴⁾として100 μg/m³が示されており、半数近くの居室でこの濃度よりも高い値であった。

夏期及び冬期の濃度を比較すると、夏期においては温度上昇による発生の増加が、また冬期においても通風換気を行わないため換気量の減少¹⁵⁾による濃度の増加が見込まれる。夏期に平均濃度の高い物質として、p-ジクロロベンゼン、テトラデカン、α-ピネン、2-エチル-1-ヘキサノールであった。逆に、d-リモネン、TVOC は、夏期よりも冬期の方が高くなっており、物質により傾向が異なることがわかった。

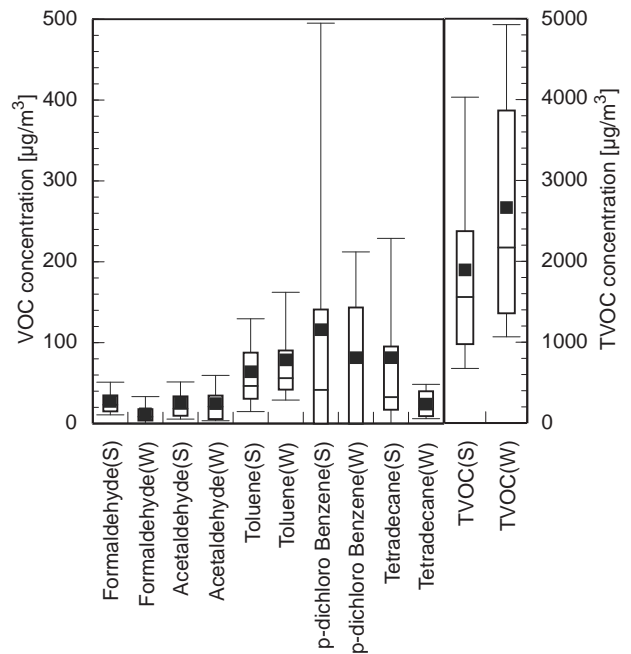


Fig.1 VOC concentrations in summer and winter

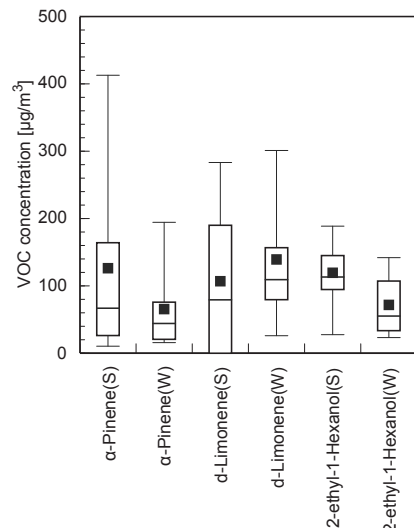


Fig.2 Concentrations of other VOCs in summer and winter

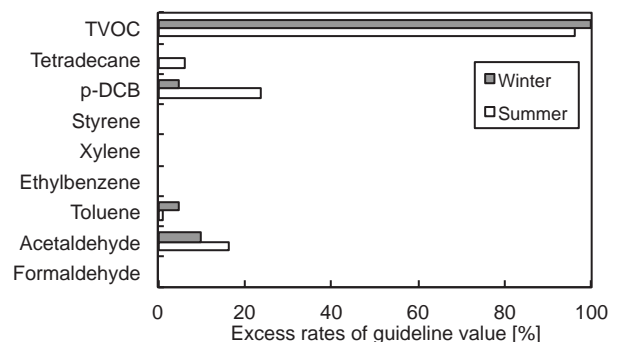


Fig.3 Excess rates of guideline values of VOCs

Fig.3 に各物質における指針値及び TVOC の暫定目標値を超過した測定点数の割合について夏期及び冬期のデータを分けて示す。既往の新築住宅の実態調査²⁾においては、2005 年度の指針値超過の割

合が、ホルムアルデヒドが 1.6%，アセトアルデヒド 9.7%，トルエン 0.6%程度であり、ホルムアルデヒド及びトルエンについては年々減少の傾向を示していた。それに比べると、今回の応急仮設住宅については、ホルムアルデヒドでは超過する物件はなく、適切な材料が使用されていることが伺える。しかしながら、アセトアルデヒドでは、超過した割合が 10%超と、他の物質と比較しても高い割合となっていた。上述したように住宅に使用されている木材からの発生が考えられるが、冬期には時間が経過したことによる発生量の減少もあり、若干超過率が低い傾向となった。また TVOC は、多くの住宅において暫定目標値を超過する結果となり、冬期に測定した住宅については全て上回る結果となった。

3.2 SVOC の空気中及びハウスダスト中濃度

Fig.4 に、SVOC について、フタル酸ジ-n-ブチル (DBP)、フタル酸ジ-2-エチルヘキシル (DEHP) の空気中濃度及びハウスダスト中の含有量について示す。室内空気中濃度については、既往研究¹⁶⁾と同様に蒸気圧が低いため、指針値(DBP:220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, DEHP: 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)を超過する濃度とはならず、低い値となった。また、冬期の方が濃度の低い傾向となった。

ハウスダスト中の濃度では、DBP については、平均 50 $\mu\text{g}/\text{g}$ 程度であるのに対し、DEHP については平均 1000 $\mu\text{g}/\text{g}$ を超過した。既往の研究¹⁷⁾における 30 件のアパートの測定では、DBP が平均 55.6 $\mu\text{g}/\text{g}$ 、DEHP が 775.5 $\mu\text{g}/\text{g}$ であった。本調査においても DBP よりも蒸気圧の低い DEHP の方が濃度が高かった。また既往研究による住宅での結果¹⁸⁾と比べても、両者とも平均濃度は高い値となったが、濃度範囲としては同等であった。季節の違いは、空気中濃度と同様に、夏期の方が高い値となった。

ハウスダスト中に含まれる SVOC については、空気中の SVOC 量と共に、床材に堆積することによる接触の影響が原因の一つとも考えられ¹⁶⁾、塩化ビニルや自然素材(木材)を用いた床材によっては、ハウスダスト中の含有量が異なるもの^{20,21)}である。今回の応急仮設住宅の床材については、居住者が個別に設置するものも含め、フローリング、畳、塩ビシートなど様々な材料が使用され、SVOC の発生源としても多様であったため、DEHP の含有量に大きな偏差が生じたものと考えられる。また、含有量にはダストの曝露時間(履歴)、掃除の頻度などにも影響されるものと考えられ、今後詳細に検討を行う必要がある。

4. 室内 VOC 濃度上昇要因の検討

4.1 機械換気の運転状況

上述の結果から、応急仮設住宅は建築基準法の適用範囲外ではあるものの、ホルムアルデヒド濃度は低い傾向となっており、適切な材料の選択が行われているものと考えられる。しかし、p-ジクロロベンゼン及び TVOC 濃度については高い濃度の傾向となった。p-ジクロロベンゼンは、建物起因ではなく居住者が持ち込んだ防虫剤が発生源であることから、防虫剤の適切な使用と共に、換気を適切に行うなどして、極端に濃度が高くないような居住者の行動も重要となる。

この実測調査と同時に行った居住者へのアンケート¹⁹⁾では、トイレや浴室の換気扇を常時使用しているのは、35%程度に留まっていた。なお、およそ 2/3 からは「必要時のみ運転」との回答を得てい

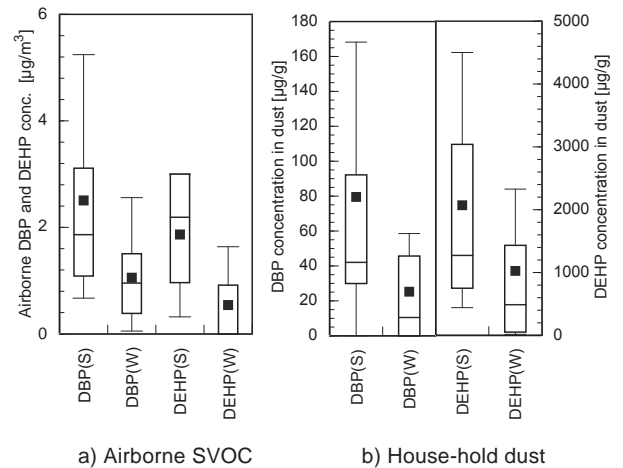


Fig.4 SVOC concentrations in summer and winter

る。また、設置された機械換気システムは何れも第三種換気設備に分類され、住宅自体に一定の気密性を有している場合には、居室に適切な開口(給気口)を設け、流入から排出に至る流れを作り出す必要がある。聞き取り調査においては、Type 2 の住宅の 4 割近くの居住者が給気口の存在を認識しておらず、一部住戸では給気口のシャッター(手動)が閉まったままになっているなど、居住者の給気口に対する認識に問題があると考えられる。このことから、換気扇停止及び不適切な機械換気の使用方法が長く続く条件となれば、容易に VOC 濃度が上昇するものと考えられる。冬期においては更に窓明けによる通風がされない状況であったものと考えられ、既往の研究⁹⁾による仮設住宅の CO_2 濃度の結果からも、冬期の上昇が認められている。このことにより TVOC 濃度の上昇を招いた可能性があるため、定期的な窓明け換気及び機械換気の運転により、VOC 濃度の上昇を防ぐことが重要と考えられる。なお、特に冬期においては、窓明け換気による室温の急激な低下の課題がある。そのため、常時の機械換気による全般換気で、極端に高濃度としないことが重要であると考えられる。

4.2 TVOC 濃度

本調査では、TVOC 濃度が平均約 2000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と暫定目標値を大幅に上回った住宅が多数あった。TVOC の暫定目標値の設定には、健康影響を考慮した値ではないものの、国内における室内化学物質濃度の実態調査の結果を用いて、対象となった居室の半数が達成可能と推定された値である¹⁰⁾。更には、竣工後の住宅においては TVOC 濃度が高い状況にあることが述べられている。今回の応急仮設住宅において TVOC 濃度が高かった原因としては、換気不足もあると考えられるが、上述のテルペン類が高濃度であった他に、定性ができていないものの溶剤中のミネラルスピリットからと考えられる芳香族炭化水素類、脂肪族炭化水素類及びナフタレンを含む物質が多く検出されていた。杉材の小形チャンパー法による発生成分を分析では²³⁾、同様の物質が検出され、木材からの発生が考えられる。また、既往研究⁹⁾では、酢酸ブチル、メチルイソブチル、 α -ピネンのほか、テキサノール及びその異性体が多く検出されており、ラテックス塗料、エマルジョン塗料などの水性塗料の造膜助剤として添加されている成分である。厚生労働省の指針値に挙げられている物質以外の VOC の室内における発生が、TVOC 濃度が高濃度の原因となっている

た。

4.3 開放型ストーブの影響

応急仮設住宅には、エアコンが設置されているが、居住者によっては、開放型のガス又は石油ストーブを使用していた。そこで、Fig.5 にトルエン、エチルベンゼン及び TVOC 濃度の夏期と冬期の同一室内における濃度の関係について示す。ここでは、ヒアリングで暖房器具の種類を確認し、エアコン・電気ストーブを使用している部屋（図中で A/C と表記）と、開放型の石油・ガスストーブを使用している部屋（stove）とを分けて示している。

エアコンのみの部屋では、夏期及び冬期ともに同程度の濃度であったが、ストーブを使用した住宅については冬期の方が高くなった。特に TVOC 濃度については、顕著であった。ストーブからは、多くの有機物質が発生することが知られており²⁴⁾、冬期においては開放型ストーブの使用が VOC の濃度を押し上げていることが分かった。

4.4 住宅の仕様による濃度の違い

測定対象の仮設住宅は大きく分けるとプレハブ建築協会規格建築部会会員製（Type 1）と同協会住宅部会会員製（Type 2）の2種類である。Type 1 については、既往の研究²⁵⁾より気密性能は中間戸戸で 5.39~5.87cm²/m²、妻住戸で 6.24~6.33cm²/m²であり、次世代省エネ基準を満たしていなかった。一方、Type 2 の実測値はないが、一般的な住宅と同様の仕様から Type 1 よりも気密性能が優れ、通常の本造住宅と遜色ない気密性能を有していると考えられる。この2つの住宅のタイプ別の VOC 濃度を比較すると、Fig.6 のようにトルエン、p-ジクロロベンゼン、TVOC については、夏期及び冬期ともに Type 2 の方が若干濃度が高い傾向となった。よって、自然及び通風換気が期待できない場合には、機械換気を行うことが、特に気密性が高い応急仮設住宅については必要であると言える。

5. まとめ

本研究では、入居中における応急仮設住宅内の夏期及び冬期の空気中 VOC 濃度の測定を行い、その特徴及び濃度が高くなった原因について検討を行って、以下のような知見を得た。

- ・室内空気中の VOC について、ホルムアルデヒドは厚生労働省の指針値と比較すると低い濃度であり、応急仮設住宅であっても、十分に低濃度に保たれていることが分かった。また、アセトアルデヒド、p-ジクロロベンゼン、テトラデカンでは指針値を超過する住宅があり、TVOC については、平均約 2000 µg/m³ と高い値であった。
- ・夏期及び冬期の濃度を比較すると、夏期の方が VOC の発生量が多くなるものの、夏期よりも冬期の方が高くなった物質として、d-リモネン及び TVOC であった。暖房期においては換気量が少なくなったことが要因と考えられる。
- ・ハウスダスト中の SVOC の含有量については、DBP が平均 75 µg/g、DEHP が 1800 µg/g であり、既往の研究のアパートにおける含有量と比較すると若干高い値を示した。また、冬期の方が空気中濃度も高い傾向であった。
- ・TVOC 濃度が比較的高濃度となった原因として、機械換気を活用していないことに加え、VOC の成分から木材から発生する物質が多量に含まれていることから、構造としている木材からの発生物質が TVOC 濃度を押し上げているのも一つの原因であることを示した。
- ・住宅タイプによっては、気密性能が向上することにより VOC 濃

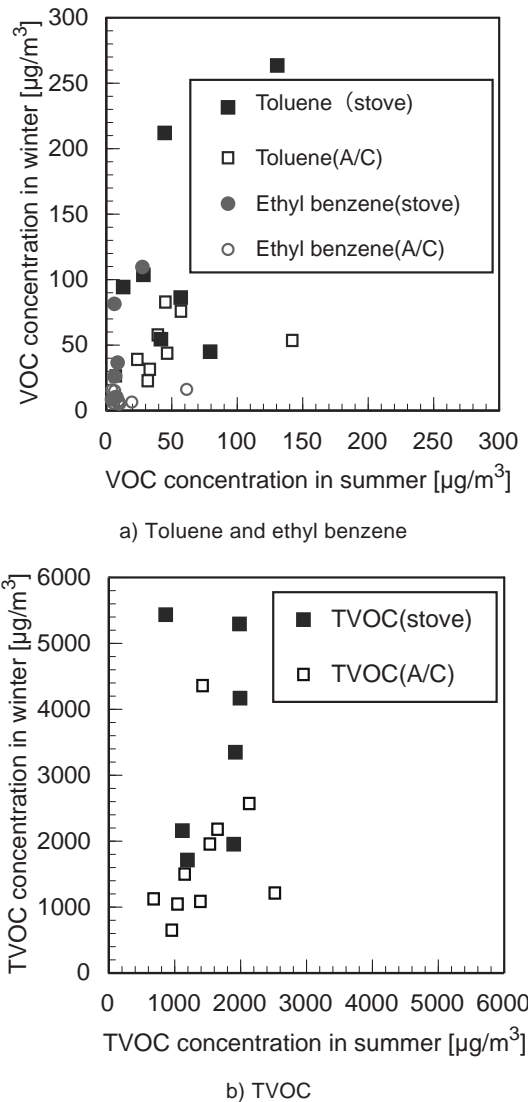


Fig.5 Relationships of VOC concentrations between summer and winter with types of heating equipments

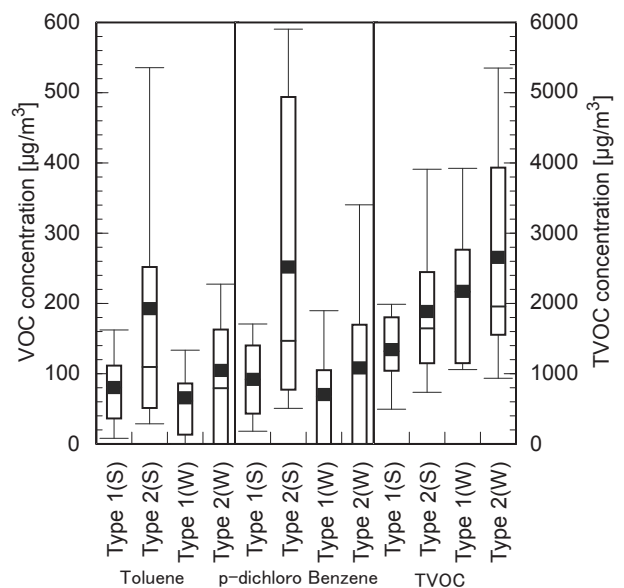


Fig.6 VOC concentrations with house types

度に影響を与えていることが明らかになった。

謝辞

本研究は、2011年3月11日に発生した東日本大震災直後に組織された「日本建築学会東北支部・環境工学部会・震災関連住宅における健康影響の低減対策に関する研究WG（委員長：吉野博・東北大学教授）」の活動の一環として実施したものである。なお、本調査は、秋田県立大学研究倫理審査委員会による審査を経て承認を得た後に実施している。本調査を進めるに当たっては、応急仮設住宅を始め被災地域に居住されている皆様に、多大なるご理解・ご協力をいただきました。ここに記して深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) 大澤元毅, 池田耕一, 林基哉, 小島隆矢, 真鍋純, 中林由行: 2000年全国実態調査に基づく住宅室内空気中のVOC汚染の状況, 日本建築学会環境系論文集, 第575号, pp.61-66, 2004.1
- 2) 国土交通省: 平成17年度室内空気中の化学物質濃度の実態調査の結果等について, http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha06/07/071130_.html, 2006.11.30.
- 3) 後藤隆雄, 日埜昭子: 阪神大震災1年後の西須磨地域での健康アンケート調査と二酸化窒素汚染の調査との関係について, 自然災害科学, 第17巻, 第3号, pp. 249-260, 1998.11
- 4) 寺園淳, 酒井伸一, 高月紘: 阪神・淡路大震災における建物解体にともなうアスベスト飛散に関する検討, 大気環境学会誌, 第34巻, 第3号, pp. 192-210, 1999.11
- 5) 笈川大介, 高尾洋輔, 村田真一郎, 竹内弥, 下山啓吾, 関根嘉香: 宮城県内の応急仮設住宅における室内空気中アルデヒド・ケトン類および揮発性有機化合物の実態調査, 室内環境, 第14巻, 第2号, pp. 113-121, 2011.12
- 6) 柳宇, 吉野博, 長谷川兼一, 東賢一, 大澤元毅, 鍵直樹, 猪野琢也: 東日本大震災における応急仮設住宅の空気環境に関する調査研究, 日本建築学会環境系論文集, 第78巻, 第694号, pp. 917-921, 2013.7
- 7) 柳宇, 吉野博, 長谷川兼一, 東賢一, 大澤元毅, 鍵直樹: 仙台市内の応急仮設住宅における室内真菌汚染の実態, 日本建築学会技術報告集, 第22巻, 第51号, pp. 615-620, 2016.6
- 8) 長谷川麻子, 柳宇, 鍵直樹, 長谷川兼一, 篠原直秀, 阿部恵子, 吉野博: 阿蘇市における応急仮設住宅の室内空気環境に関する調査研究, 日本建築学会環境系論文集, 第81巻, 第721号, pp. 319-325, 2016.3
- 9) N. Shinohara, M. Tokumura, M. Kazama, Y. Yonemoto, M. Yoshioka, N. Kagi, K. Hasegawa, H. Yoshino, U. Yanagi: Indoor air quality and thermal comfort in temporary houses occupied after the Great East Japan Earthquake, *Indoor Air*, Vol. 24, pp. 425-437, 2014, DOI: 10.1111/ina.12082
- 10) 日本建築学会: 日本建築学会環境基準 AIJES-A006-2010 総揮発性有機化合物による室内空気汚染に関する設計・施工等規準・同解説, 2010
- 11) H. Sagunski, B. Heinzow: Richtwerte für die Innenraumluft: Bicyclische Terpene (Leitsubstanz α -Pinen), *Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz*, Vol. 46, pp. 346-352, 2003.
- 12) Mitteilung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe: Richtwerte für monocyclische Monoterpene (Leitsubstanz d - Limonen) in der Innenraumluft, *Bundesgesundheitsbl*, Vol. 53, pp. 1206-1215, 2010.
- 13) 千野聡子, 加藤信介, 徐長厚, 安宅勇二: 各種塩化ビニル床材を施工した床面からの化学物質放散量測定: 化学反応により生成した2-エチル-1-ヘキサノールの放散性, 日本建築学会環境系論文集, 第74巻, 第636号, pp. 185-191, 2009.2
- 14) Mitteilung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe: Richtwerte für 2-Ethylhexanol in der Innenraumluft, *Bundesgesundheitsbl*, Vol. 56, pp. 590-599, 2013.
- 15) 篠原直秀, 片岡敏行, 高峰浩一, 中村利美, 本橋勝紀, 西島宏和, 佛願道男, 蒲生昌志: 26軒の住宅3部屋における換気量の日変動と季節変動, 第10回室内環境学会学術大会論文集, pp. 94-95, 2007.12
- 16) 金澤文子, 岸玲子: 半揮発性有機化合物による室内汚染と健康への影響, 日本衛生学会誌, 第64巻, pp. 672-682, 2009.5
- 17) H. Fromme, T. Lahrz, M. Piloty, H. Gebhart, A. Oddoy, H. Ruden: Occurrence of phthalates and musk fragrances in indoor air and dust from apartments and kindergartens in Berlin (Germany), *Indoor Air*, 14, 188-195, 2004.
- 18) A. Kanazawa, I. Saito, A. Araki, M. Takeda, M. Ma, Y. Saijo, R. Kishi: Association between indoor exposure to semi-volatile organic compounds and building-related symptoms among the occupants of residential dwellings, *Indoor Air*, Vol. 20, pp. 72-84, 2010.
- 19) 鍵直樹, 並木則和: 室内における浮遊微粒子とハウスダストのSVOC, エアロゾル科学・技術研究討論会, pp. 183-184, 2009
- 20) Kim Hyun-Tae, 田辺新一, 金泰祐: 韓国住宅におけるリフォーム前後のハウスダスト中DEHP濃度と床材からのSVOC放散速度, 日本建築学会計画系論文集, 第76巻, 第665号, pp. 617-622, 2011.7
- 21) 常本祥子, 岡田厚太郎, 高野修一, 金勲, 田辺新一, 吉野博: 半揮発性有機化合物(SVOC)の測定法に関する研究, その8住宅におけるハウスダスト中SVOC濃度測定, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学II, pp. 931-932, 2008
- 22) 大澤元毅, 吉野博, 長谷川兼一, 柳宇, 東賢一, 鍵直樹, 浜田健祐, 猪野琢也, 角間隆之: 震災関連住宅における温熱・空気環境に関する調査第3報 宮城県応急仮設住宅における聞き取り調査の結果, シンポジウム東日本大震災からの教訓, これからの新しい国づくり, 日本建築学会, pp. 439-442, 2012.3
- 23) 鍵直樹, 吉野博, 長谷川兼一, 柳宇, 東賢一, 大澤元毅, 本間義規, 浜田健祐, 猪野琢也, 角間隆之: 震災関連住宅における温熱・空気環境に関する調査第10報 応急仮設室内における揮発性有機化合物の調査結果, シンポジウム東日本大震災からの教訓, これからの新しい国づくり, 日本建築学会, pp. 467-470, 2012.3
- 24) 野崎淳夫, 折笠智昭, 吉澤晋: 開放型石油暖房器具からのVOCの発生: 開放型燃焼器具からのガス状汚染物質の発生に関する研究 その1, 日本建築学会環境系論文集, 第591号, pp.31-35, 2005.5
- 25) 猪野琢也, 吉野博, 石川善美, 浜田健祐: 震災関連住宅における温熱・空気環境に関する調査 第5報未入居応急仮設住宅における夏期温熱環境と気密性能の調査結果, 東日本大震災シンポジウム, 日本建築学会, pp. 440-443, 2012.3

FIELD INVESTIGATION ON INDOOR CHEMICAL POLLUTION IN TEMPORARY HOUSES IN SENDAI CITY

*Naoki KAGI**, *Hiroshi YOSHINO***, *Kenichi HASEGAWA****,
*U YANAGI*****, *Kenichi AZUMA****** and *Haruki OSAWA******

* Assoc. Prof., Tokyo Institute of Technology, Dr.Eng.
** President-appointed Extraordinary Prof., Tohoku University, Dr.Eng.
*** Prof., Akita Prefectural University, Dr.Eng.
**** Prof., Kogakuin University, Dr.Eng.
***** Assoc. Prof., Kindai University, Dr.Eng.
***** Chief Researcher, National Institute of Public Health, Dr.Eng.

The Great East Japan Earthquake had occurred on March 11th in 2011. There were serious damages in Tohoku and Kanto district, especially seaside cities of the Pacific Ocean in Tohoku district by tsunami. Many people in these areas had lost their houses and more than fifty thousand temporary houses were built in three prefectures of the Tohoku district. Several problems, such as indoor thermal environment and indoor air quality as well as sound environment problems might be occurred in temporary houses.

This study aimed to investigate the indoor air quality, especially indoor VOC (volatile organic compound) concentrations in the temporary residential houses. In summer in 2011 and winter in 2012, measurements have been conducted in the temporary houses in Sendai and measuring results were compared with guideline value in Japan.

As a result, the mean concentrations were much less than the guideline values, however acetaldehyde, p-dichloro benzene and tetra-decane concentrations in some rooms exceeded the guideline values. Since p-dichloro benzene was emitted from moth-repellent that the residents used, the concentrations in the houses using moth-repellent might become at high level. The α -pinene and d-limonene are emitted from wood materials along with acetaldehyde. Therefore, the reason why the acetaldehyde concentrations were high in indoor air was the emission from woods used as construction and interior materials in the temporary houses. One of the sources of 2-ethyl-1-hexanol in indoor environments is the chemical reaction of the plasticizer contained in vinyl chloride materials. Since the vinyl chloride sheets were used at kitchen floorings in some temporary houses, 2-ethyl-1-hexanol was detected in the specific houses.

TVOC concentrations in every temporary houses exceeded the tentative guideline, 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Since only about 65% residents of the temporary houses did not generally use the ventilation fans of the toilet or bathroom from the other previous survey, the necessary ventilation air volumes in houses were usually not enough. The acetaldehyde exceeded ratio for the temporary houses was higher than one of the previous survey of newly built houses. The mean TVOC concentration of about 2000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ showed higher compared with the tentative guideline value. The shortage of ventilation air volume could be also one of the reasons that the TVOC concentrations were high in the temporary houses. The TVOC in the temporary houses contained not only terpens, such as α -pinene and d-limonene, but also the aromatic hydrocarbons, aliphatic hydrocarbons and other many kinds of compounds.

The mean DEHP concentration in house-hold dust was about 2000 $\mu\text{g}/\text{g}$. In the previous survey of the 30 apartments and kindergartens, an average DBP was 55.6 $\mu\text{g}/\text{g}$, and DEHP was 775.5 $\mu\text{g}/\text{g}$. While DBP concentration was at same level, DEHP was much higher than the previous study. Various materials, such as wooden flooring, tatami, and PVC sheet, are used in the temporary houses, and there were various sources of SVOC. The SVOC concentration in settled dust in the temporary houses could be affected by not only the emission source of interior materials but also the duration of exposure and frequency of cleaning on floorings.

(2016年6月8日原稿受理, 2016年7月26日採用決定)