

[木材学会誌 Vol. 53, No. 1, p. 34-39 (2007)]

改正建築基準法に対応した新築住宅における 室内空気質の実態調査（第1報） カルボニル化合物気中濃度の実態^{*1}

樋田淳平^{*2}, 高塚早紀^{*3}, 山田雅章^{*3}, 滝 欽二^{*3},
吉田弥明^{*3}, 山田 誠^{*4}

Field Measurement of Indoor Air Quality in Newly Constructed Houses according to the Revised Building Standard Law in Japan I. Field measurement of concentration of carbonyl compounds in indoor air^{*1}

Junpei HIDA^{*2}, Saki TAKATSUKA^{*3}, Masaaki YAMADA^{*3},
Kinji TAKI^{*3}, Hiroaki YOSHIDA^{*3} and Makoto YAMADA^{*4}

Indoor air quality of the wooden houses newly built according to the revised Building Standard Law was surveyed in Shizuoka and Aichi prefecture, 2004. Air concentrations of carbonyl compounds were measured in 20 living rooms and bedrooms of 10 houses of a natural type, furnished with natural materials, such as solid wood for floor and wall panels, and 18 rooms of 9 houses of a general type, furnished with artificial materials such as bonded wood materials for floors and polyvinyl covering for walls and ceilings. Average formaldehyde air concentration was $79 \mu\text{g}/\text{m}^3$. The formaldehyde concentration of 70% of the rooms was above the guideline value in the 2000 survey. However, it was reduced to 20% in this survey. Formaldehyde concentration above the guideline value was measured in a few rooms just after completion of construction although it was apparent that the revision of the Building Standard Law did lead to a decrease of formaldehyde concentration. There was no difference in concentration between natural type and general type rooms. Average acetaldehyde concentration was $227 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and about 89% of the rooms were above the guideline value ($48 \mu\text{g}/\text{m}^3$) for air concentration. Acetaldehyde air concentration of general type houses and bedrooms was higher than that of natural type houses and living rooms. It was suggested that natural furnish materials lowered acetaldehyde air concentration.

Keywords: indoor air quality, formaldehyde, acetaldehyde, Building Standard Law, wooden houses.

静岡県及び愛知県で改正建築基準法施行後に新築された、内装材に主にムク材などの天然材料を多用した住宅（天然仕様住宅）10棟20部屋、及び複合フローリングやビニルクロスなどの加工材料を主とした住宅（一般仕様住宅）9棟18部屋について、カルボニル化合物気中濃度の実態調査を行った。ホルムアルデヒド気中濃度は2000年では全体の約70%が指針値 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超過し

^{*1} Received May 15, 2006; accepted August 24, 2006. 本研究の一部は、第55回日本木材学会大会（2005年3月、京都）において発表した。

^{*2} 岐阜大学大学院連合農学研究科 The United Graduate School of Agricultural Science, Gifu University, Gifu 501-1193

^{*3} 静岡大学農学部 Faculty of Agriculture, Shizuoka University, Shizuoka 422-8529

^{*4} (財)日本住宅・木材技術センター Japan Housing and Wood Technology Center, Tokyo 107-0052

ていたが、年々減少傾向を示している。今回の平均気中濃度は $79 \mu\text{g}/\text{m}^3$ で指針値超過率は約20%となり、改正建築基準法の効果がみられたものの、新築直後では指針値を超過する住宅も散見された。内装仕様の差異による影響はあまり認められなかった。アセトアルデヒドの平均気中濃度は $227 \mu\text{g}/\text{m}^3$ で、全体の約89%が指針値 $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超過し、低減化が進んでいないことがわかった。アセトアルデヒドは居間よりも寝室、天然仕様住宅よりも一般仕様住宅の方が気中濃度が高い傾向が認められ、天然材料を使用することで気中濃度が低くなることが示唆された。

1. 緒 言

近年の省エネルギー化に伴い、住宅が高気密化し、その結果居室における室内空気汚染問題が顕在化し、いわゆるシックハウス症候群として一般にも認識される社会問題となっている。現在シックハウス問題に対して各省庁で対策が講じられており、厚生労働省が13物質についての室内濃度指針値及び総揮発性有機化合物（TVOC）量の暫定目標値を提示している¹⁾。そのような中、2003年7月に改正建築基準法が施行され、クロルピロホスの使用禁止、ホルムアルデヒドを放散する特定建材の使用面積制限及び換気設備設置の義務付けといった、法的な規制が開始された²⁾。これと並行して、日本工業規格（JIS）及び日本農林規格（JAS）が改正され、ホルムアルデヒドの放散レベルの見直しが行われ、新たにF☆☆☆☆ランクが設けられる等、住宅建材においても対応が進められている³⁾。また、国土交通省は2000年度に新築住宅の空気質について、ホルムアルデヒド、トルエン、キシレン、エチルベンゼンの室内気中濃度の実態調査を行った。その後さらに2001年度にスチレン、2002年度にアセトアルデヒドを新たに加え、現在6物質について全国で実態調査を継続して行っている⁴⁾。その報告によるとホルムアルデヒド平均気中濃度は年々減少しており、指針値 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ （0.08 ppm）を超過した住宅の割合も2000年度では28.7%であったものが、改正建築基準法施行後に新築された住宅では1.3%となり、低減化が進んでいる。トルエン、キシレン、エチルベンゼン、スチレンについても平均濃度は低下傾向にある。これらの理由には、ホルムアルデヒドなど有害な物質の放散が少ない建材の開発が進められてきたことや、消費者がムク材を始めとする天然材料や低放散建材などを求めるようになってきていることなどが理由として挙げられる。

こうした背景を踏まえ、本研究では改正建築基準法施行後に新築された住宅における室内空気質の実態調査をおこなった。本報告では、特にホルムアルデヒド等のカルボニル化合物の気中濃度について報告する。

2. 測定住宅及び気中濃度の測定方法

2.1 測定住宅

測定対象住宅は、2004年6～9月に静岡県及び愛知県で新築された、木造軸組工法の住宅19棟38部屋とした。これらを内装仕様の違いから、床にスギやヒノキのムク材、壁・天井にムク材や珪藻土など天然由来材料を多用した住宅（以下、天然仕様住宅とする）（Fig. 1）、床に複合フローリング、壁・天井にビニルクロス（いずれもF☆☆☆☆）を使用した住宅（以下、一般仕様住宅とする）（Fig. 2）に分類した。使用されている主要な材料を住宅仕様別にTable 1に示した。Table 1に示した材料のほかに、天然仕様住宅の一部でシルクタッチ塗装などの表面仕上げをしている住宅があったが、これらの詳細については不明である。それぞれの住宅で居間と寝室の2部屋を測定対象とし、天然仕様住宅は10棟20部屋、一般仕様住宅は9棟18部屋を測定した。測定は厚生労働省のガイドラインに記載されている標準測定法⁵⁾に基づき、住宅の竣工から入居までの間の日中に行った。なお、竣工から測定までの期間は1週間以内であり、その間は24時間換気システムが作動した状態であった。

2.2 試料空気の捕集

原則として空気捕集の前日に、住居の開口部すべてを30分間以上開放した後、開口部を完全に閉鎖

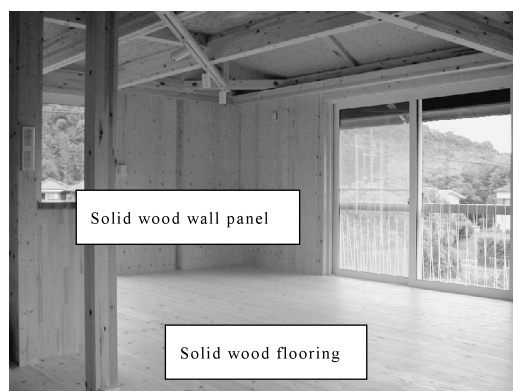


Fig. 1. A typical room of natural type houses.

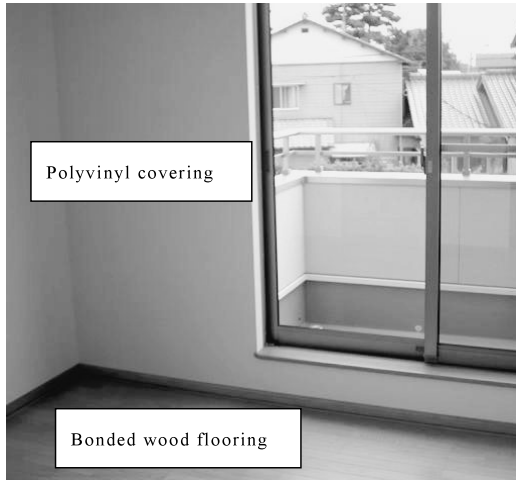


Fig. 2. A typical room of general type houses.

し、8時間以上密閉状態を保持した。その際、キッチンの戸棚や備え付け家具類の扉は開放し、24時間機械換気システムを作動状態にしてこれを維持した。すべての空気捕集が終了するまで可能な限りこ

の状態を保持した。捕集箇所は居間、寝室及び外気の3ヶ所とし、捕集位置は部屋の中央付近で、壁から少なくとも1m以上離れた、高さ1.2mの位置とした。外気では外壁及び空調吸排気口から2m以上離れた、室内での捕集と同等の高さとした。室内においては各室とも2回ずつの捕集を行い、その平均値を測定値とした。空気捕集は、DNPHシリカカートリッジ(Waters社製)を用いて捕集流速0.33 L/min、捕集量10 Lで行った。捕集時はオゾン及び水分の影響を排除するため、捕集管の直前にオゾンスクラバー(Waters社製)を装着した。また、捕集管と隣接して温湿度計を設置し、空気捕集開始時点から終了までの温湿度を測定した。

2.3 分析

カルボニル化合物の分析にはHPLCを用いた。捕集済のDNPHシリカカートリッジにアセトニトリル3 mLを注入して溶出後、更にアセトニトリルを加えて全量を5 mLとし、分析試料とした。定量にはアルデヒド・ケトン-DNPH誘導体13物質混合溶液(GLサイエンス社製)を標準溶液として用いて保持時間により定性し、ピーク面積により定量を行

Table 1. List of main materials used in measured rooms.

	Type A		Type B	
	Living room	Bedroom	Living room	Bedroom
Floor	Sugi solid flooring Sugi solid flooring (with oil finishing) Hinoki solid flooring Tatami mat Pine solid flooring Pine solid flooring (with oil finishing) Japanese Ash solid flooring Cork tile Tile floor	Sugi solid flooring Pine solid flooring (with oil finishing) Hinoki solid flooring Hinoki solid flooring (with wax) Pine solid flooring Sugi solid flooring (with oil finishing) Japanese Ash solid flooring Tatami mat	Bonded wood flooring Tatami mat	Bonded wood flooring
Under floor	Structural plywood Synthetic rubber sheet Laminated board	Structural plywood Plaster board	Luan plywood	Luan plywood
Wall	Diatom earth Sirasu wall Plaster coating Larch plywood Tile wall Acryl emulsion paint	Diatom earth Sugi solid wood Japanese paper Plaster coating Kenaf board Hinoki laminated board Acryl emulsion paint	Polyvinyl covering Sugi solid wood	Polyvinyl covering
Under wall	Plaster board Gypsum board	Plaster board Gypsum board	Gypsum board	Gypsum board
Ceiling	Japanese paper Acryl emulsion paint Sugi solid wood Laminated board Hinoki laminated board	Sugi solid wood Laminated board Japanese paper	Polyvinyl covering	Polyvinyl covering
Under ceiling	Plaster board	Plaster board	Gypsum board	Gypsum board

った。また、測定に使用した捕集管と同様に持ち運んだ、栓をしたままの捕集管からトラベルブランクを同様に求めた。

3. 結果及び考察

今回の測定時の室温は夏場の調査であるため、平均温度は天然仕様住宅では31.5℃（居間：32.1℃，寝室：30.8℃），一般仕様住宅では32.6℃（居間：31.5℃，寝室：33.7℃）と高めであった。以下に、改正建築基準法の規制対象物質であるホルムアルデヒド、及び厚生労働省から指針値の提示されているアセトアルデヒドについて検討した。

3.1 ホルムアルデヒド

ホルムアルデヒド気中濃度の度数分布及び累積度数をFig. 3に示した。平均の気中濃度は79 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、60~80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲が最も多かった。指針値100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超過したのは38部屋中7部屋（居間3部屋，寝室4部屋）で、全体の18%であった。国土交通省による全国調査⁴⁾では、改正建築基準法施行後である平成15年7月1日以降着工分の住宅で指針値を超過した割合は1.3%と報告されている。国土交通省での調査は、居住状態において24時間パッシブ法で測定しており、さらにこの報告の中で、指針値を超過した住宅は気温が高い日の測定で多く見られたと報告されている。本調査では気温の高い日中の30分間にアクティブ法で測定しているため、これらの違いにより国土交通省調査と差異が出たものと考えられる。また、居住者が入居した後では気中濃度の減衰が速いという報告⁶⁾もあり、未居住、既居住の違いも上記のような差異に影響したものと思われる。

ホルムアルデヒド気中濃度に対する内装仕様の影響を調べるため、住宅仕様別にホルムアルデヒド気中濃度を比較した (Fig. 4)。天然仕様住宅の気中濃

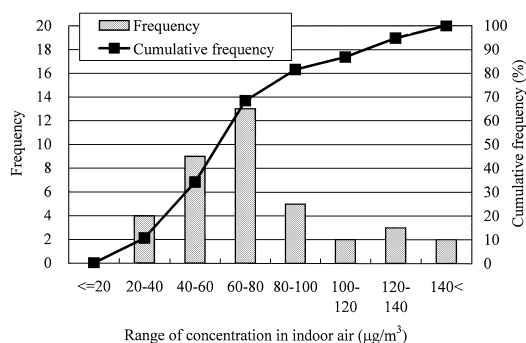


Fig. 3. Frequency distribution and cumulative frequency of formaldehyde concentration in indoor air.

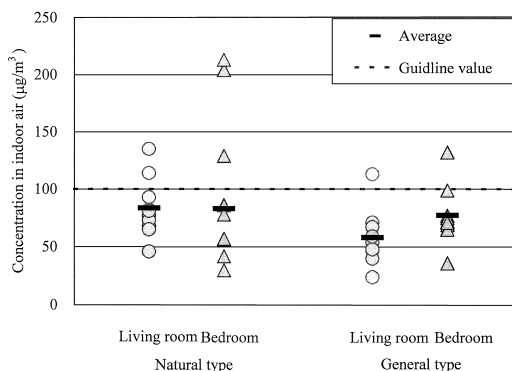


Fig. 4. Formaldehyde air concentration in measured rooms. Notes: Natural type rooms are mainly furnished with natural materials. General type rooms are mainly furnished with artificial materials.

度は一般仕様住宅の気中濃度に比べてバラツキが大きかった。この原因として天然仕様住宅は天然のムク材を中心として使用しているのに対し、一般仕様住宅で使用されている材料は、規格化され生産管理された製品であることが挙げられる。平均値でみた場合、天然仕様住宅の方がやや高濃度であるが、明確な差はなく、両仕様とも指針値以下であり、加工木質建材のホルムアルデヒド低減化が徹底されてきていることが示唆された。天然仕様住宅で高濃度を示した部屋の内装では、床にヒノキヤタモ、天井にスギ材を使用していたが、同樹種のムク材を使用している部屋でも低濃度のものがあり、ムク材とホルムアルデヒド気中濃度との因果関係は不明である。さらに下地材にはパーティクルボードや構造用合板が使用されている住宅もあるが、高濃度の部屋、低濃度の部屋ともに使用されており、この因果関係についても不明である。また、高濃度の部屋では床や建具にワトコオイルを塗布しているものがあった。

3.2 ホルムアルデヒド気中濃度の年次変化

ホルムアルデヒド気中濃度に対する改正建築基準法の影響を調べるため、2000年~2004年に行われた実態調査の平均気中濃度及び指針値超過率の比較を行った (Fig. 5)。なお、2000年の実態調査⁷⁾及び2001~2002年の実態調査⁸⁾は、それぞれ大野ら及び樋田らが行ったものである。また、各年度の実態調査では測定時期及び測定環境が異なるため、Fig. 5においては、井上の式⁹⁾を用いて、建築基準法の条件である温度28℃及び相対湿度50% RHに換算した値を示している。ホルムアルデヒドの平均気中濃度

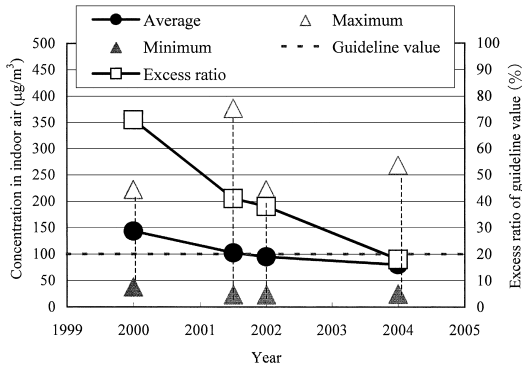


Fig. 5. Formaldehyde concentration and its excess ratio of guideline value from 2000 to 2004.

は年々減少傾向にあり、2002年以降は指針値以下となっている。指針値超過率でみると、2000年には約70%が指針値を超過しているが、その後のホルムアルデヒド放散が少ない建材の使用などにより2002年には約40%まで減少した。今回の2004年では、指針値超過率はさらに減少して約20%となり、改正建築基準法による効果が表れていると考えられる。また、ホルムアルデヒドは初期濃度が高い場合でも減衰が顕著であるとの報告もあり⁶⁾、初期に高濃度であっても速やかに減衰していくものと思われる。しかし、ホルムアルデヒド放散には温度依存性があり、室温が高くなる夏季などでは放散が多くなるとの報告がある^{6,10)}。これまでの実測においても竣工直後においては指針値を超過する部屋も見られるため、初期及び室温が高くなる夏季では換気等に十分注意し、放散したホルムアルデヒドが室内に滞留しないようにする必要がありと思われる。

3.3 アセトアルデヒド

アセトアルデヒド気中濃度の度数分布及び累積度を Fig. 6 に示した。平均の気中濃度は $227 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、 $100\sim 150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲にあるのが8部屋と最も多かったが、全体的にはばらついた分布であった。そして指針値 $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超過したのは38部屋中34部屋(居間17部屋、寝室17部屋)で、全体の約89%にも達する。このアセトアルデヒドに関しては現在指針値の見直しが検討されているが⁴⁾、その議論の対象であるWHOの推奨指針値の $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.17 ppm)という値でみた場合でも、全体の約29%にあたる11部屋(居間3部屋、寝室8部屋)が超過した。筆者らが実施した2001~2002年の調査⁸⁾では、 $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.03 ppm)を超過した部屋は全体の約85%、 $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.17 ppm)を超過した部屋は約40%であったことから、今回の2004年では $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上の

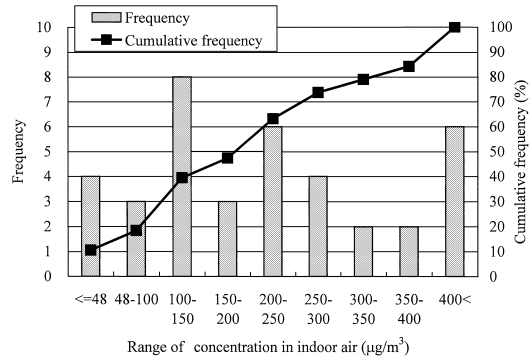


Fig. 6. Frequency distribution and cumulative frequency of acetaldehyde concentration in indoor air.

高濃度を示す部屋は少なくなっているものの、指針値 $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ の超過率は同程度であり、アセトアルデヒドの低減化に関してはあまり進んでいないことがわかった。2004年度の国土交通省の調査¹⁾においては、改正建築基準法施行後に着工した住宅では、指針値超過率は10.2%であり、本調査とは9倍近い差が見られたが、それ以前の2002年度では超過率は9.2%、2003年度では9.5%であり、ほとんど変化がなく、本調査と同様にアセトアルデヒドの低減化が進んでいないことが示唆されている。

アセトアルデヒド気中濃度に対する内装仕様の影響を調べるため、住宅仕様別にアセトアルデヒド気中濃度を比較した (Fig. 7)。一般仕様住宅ではすべての部屋で指針値 $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超過し、さらに寝室の平均値では $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超過した。また、天然仕様住宅よりも一般仕様住宅の方が気中濃度が高く、更に一般仕様住宅では寝室の方が居間よりも気中濃度が高い傾向が認められた。この結果から、アセトアルデヒドは内装に天然材料を使用することにより、

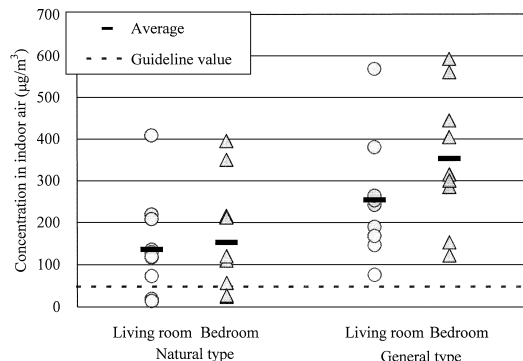


Fig. 7. Acetaldehyde air concentration in measured rooms.
Notes: Measured rooms are the same as shown in fig. 4.

加工材料を使用する場合よりも低い気中濃度になることが示唆された。しかし、使用されている下地材の種類に関しては、ホルムアルデヒドと同様に明確な関係は見られなかった。また、寝室のアセトアルデヒド気中濃度が居間よりも高くなった原因としては、寝室にはクロゼットや押入れ等の収納が設置されていることから、これらに使用されている材料からの影響が考えられる。最近の報告では、構造用集成材に使用されるレゾルシノール樹脂中に含まれるエタノールが、木材塗布時にアセトアルデヒド放散に大きな影響を及ぼすことが報告されており¹¹⁾、天然仕様住宅では梁にムク材が使用されている住宅が多いのに対し、一般仕様住宅では構造用集成材が使用されており、これらの集成材はすべてレゾルシノール樹脂で接着されていることから、これらの集成材がアセトアルデヒド放散源となっていることが推測される。

4. 結 論

改正建築基準法施行後に新築された、ムク材等天然材料を多用した天然仕様住宅10棟20部屋、及び複合フローリングやビニルクロスを使用した一般仕様住宅9棟18部屋において、カルボニル化合物の気中濃度を測定した結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) ホルムアルデヒドの平均気中濃度は $79 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、指針値 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超過したのは全体の18%であり、内装仕様別では差異が認められなかった。
- 2) ホルムアルデヒド気中濃度は2000年では全体の約70%が指針値を超過していたが、年々減少傾向を示し、今回の2004年では約20%となり、改正建築基準法の効果がみられたものの、依然として指針値を超過する住宅も散見された。
- 3) アセトアルデヒドの平均気中濃度は $227 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、全体の約89%が指針値 $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超過し、アセトアルデヒドの低減化は進んでいないことがわかった。
- 4) アセトアルデヒドは、天然仕様住宅よりも一般仕様住宅の方が気中濃度が高い傾向が認められ、天然材料を使用することで気中濃度が低くなることが示唆された。

謝 辞

本研究は、平成16年度農林水産省補助事業「住宅使用地域材性能把握事業」(実施主体:(財)日本住宅・木材技術センター)の一環として行われたものである。関係者の方々に謝意を表します。ならびに測定時にお手伝い頂いた当時静岡大学農学部木材接着学研究室の学生に対して深謝します。

文 献

- 1) 厚生労働省医薬局審査管理課化学物質安全対策室：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8回～第9回のまとめについて, 2002.
- 2) 国土交通省：シックハウス対策の技術的基準の説明資料, 2003.
- 3) (独)森林総合研究所：“シックハウスと木質建材資料集”, (財)林業科学技術振興所, 東京, 2004, pp. 1-38.
- 4) 国土交通省住宅局住宅生産課・建築指導課：平成16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（速報）, 2005.
- 5) 厚生省生活衛生局企画課生活化学安全対策室：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）室内空気中化学物質の採取方法と測定方法, 2000.
- 6) (社)日本木造住宅産業協会：“「木造軸組工法住宅のシックハウス対策」調査・研究報告書”, (社)日本木造住宅産業協会, 東京, 2005, pp. 8-48.
- 7) 大野貴久, 三木紀子, 山田雅章, 吉田弥明, 又平義和：第51回日本木材学会大会研究発表要旨集, 東京, 2001, p. 166.
- 8) 樋田淳平, 田中裕也, 山田雅章, 滝 欽二, 吉田弥明：木材学会誌 **52**(4), 31-36 (2006).
- 9) 井上明生：木材工業 **52**(1), 9-14 (1997).
- 10) 山田裕巳, 田辺新一, 林 基哉：日本建築学会環境系論文集 **589**, 23-29 (2005).
- 11) Tohmura, S., Miyamoto, K., Inoue, A.: *J. Wood Sci.* **51**(4), 421-423 (2005).