

[木材学会誌 Vol. 53, No. 1, p. 40-45 (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2報)[†]
VOC 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 II. [†]
Field measurement of concentration of VOCs in indoor air^{*1}

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

Our previous paper reported the results of carbonyl compounds air concentration in newly built wooden houses in 2004, consisting of 20 living rooms and bedrooms of 10 houses of natural type which is furnished with natural materials, such as solid wood floors and wall panels, and 18 rooms of 9 houses of general type which is furnished with artificial materials such as bonded wood materials for floor and polyvinyl covering for walls and ceilings, according to the revised Building Standard Law in Shizuoka and Aichi prefectures. In this paper we report the results of VOCs air concentration measurements. Toluene, styrene, xylene, p-dichlorobenzene, ethylbenzene and tetradecane were detected as guideline substances for indoor air quality of the Ministry of Health, Labour and Welfare of Japan. Toluene air concentration averaged $138 \mu\text{g}/\text{m}^3$, and the concentration of about 11% of all rooms was over the guideline value ($260 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Toluene concentration in general type rooms was higher than in natural type rooms. Styrene air concentration averaged $97 \mu\text{g}/\text{m}^3$, and the concentration of about 11% of all rooms was over the guideline value ($220 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Styrene concentration in general type rooms was higher than in natural type rooms. In addition, for general type houses, its concentration in bedrooms was higher than in living rooms. Air concentrations of the other four substances were low compared to the guideline values. The most abundant emission substances found in natural type houses were terpenoids. In addition, the concentration of substances other than terpenoids in natural type houses was lower than in general type houses. Furthermore, it was shown that for emission substances except terpenoids, low emission was found for the natural materials.

Keywords : indoor air quality, VOC, Building Standard Law, wooden house, terpenoid.

[†] Report I: This journal 53(1), 34-39 (2007).

^{*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

前報では、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、そのカルボニル化合物気中濃度について報告したが、本報では VOC 気中濃度の実態調査結果を報告する。厚生労働省指針値の対象物質としてはトルエン、スチレン、キシレン、パラジクロロベンゼン、エチルベンゼン、テトラデカンの6物質が検出された。トルエンの平均気中濃度は $138 \mu\text{g}/\text{m}^3$ で、指針値を超過したのは全体の約11%であり、一般仕様住宅の方が高濃度であった。スチレンの平均気中濃度は $97 \mu\text{g}/\text{m}^3$ で、指針値を超過したのは全体の約11%であり、一般仕様住宅の方が天然仕様住宅より高濃度で、一般仕様住宅においては居間よりも寝室の方が高濃度であった。その他の4物質は指針値を大きく下回る値であった。天然仕様住宅ではテルペン類が放散される VOC の多くを占め、空気質に多大に影響していた。一方、テルペン類以外の物質は一般仕様住宅に比べて少なかった。従って、天然材料からはテルペン類以外の物質の放散が少ないことが示唆された。

1. 緒 言

近年、居室における室内空気汚染問題が顕在化し、シックハウス症候群として一般にも認識されている。この問題は一般住宅のみにとどまらず、学校などの共同施設にも広がりを見せ、東京都のある小学校では、厚生労働省指針値を上回るトルエンが検出され、施設の使用を見合わせるといった状況が起きるなど、いわゆるシックスクール問題としても社会問題となっている。シックハウス問題に対しては各省庁で対策が講じられており、その中で国土交通省は、2003年7月より改正建築基準法を施行し、クロルピリホスの使用禁止、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う形でシックハウス問題に対する法的規制を行った¹⁾。2004年には住宅の品質確保の促進等に関する法律（品確法）の住宅性能表示制度が改正され、空気質に関する内容が加えられ、ホルムアルデヒドやトルエンなど6物質が対象とされた（現在はアセトアルデヒドが除外され5物質²⁾）。これと並行して、住宅建材においてもホルムアルデヒド低放散建材への対応が進められており³⁾、また接着剤や塗料に関しても、水性型、無溶剤型などのトルエンやキシレンを含まない製品に切り替えられてきている²⁾。一方、消費者側も化学物質の放散の少ない、いわゆる健康住宅を要望するようになってきており、ここ数年で住宅事情は大きく変化している。前報⁴⁾では2003年7月の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を調査し、カルボニル化合物気中濃度について報告した。本報では前報に引き続き、トルエン、スチレン等の VOC 気中濃度について報告する。

2. 測定住宅及び測定方法

2.1 測定住宅

測定対象住宅は前報⁴⁾と同様であり、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、内装仕様の違いから、内装材に主にムク材等の天然材料を多用した住宅（以下、天然仕様住宅とする）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（F☆☆☆☆等級）を主とした住宅（以下、一般仕様住宅とする）9棟18部屋に分類した。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 空気捕集及び分析

空気捕集条件は前報⁴⁾と同様に、捕集箇所は室内では居間、寝室及び外気の3ヶ所とし、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。捕集管はTenaxTAを使用し、捕集流速 $0.1 \text{ L}/\text{min}$ で 3.2 L 捕集した。捕集時のオゾン及び水分の影響を排除するため、捕集管の直前にはオゾンスクラバーを装着した。捕集後の分析は株ダイヤ分析センターに依頼し、加熱脱着-GC/MS法により行なった。分析条件をTable 1に示した。定量にはJapanese Indoor Air Standards Mix (SUPELCO社製) 52成分標準物質を用いた。保持時間とピーク面積により、あらかじめ作成した検量線から気中濃度を求めた。総揮発性有機化合物 (TVOC) 量はヘキササンからヘキサデカンの間に検出されたピークをトルエン重量換算して算出した。また今回の測定では、フタル酸エステル、クロルピリホス、ダイアジノンといった高沸点の化合物については分析対象外とした。

Table 1. GC/MS analysis condition.

Desorption temperature	300°C (10 min)
Secondary desorption temperature	5°C → 310°C (30 min)
GC-MS system	HP-6890+HP-5973B
Column	HP-VOC 0.32 φ × 60 m f.t 1.8 μm
Oven temperature	35°C (2 min) → (15°C/min) → 95°C (0 min) → (2.5°C/min) → 105°C (0 min) → (5.0°C/min) → 250°C (5 min)
Analysis mode	SCAN

3. 結果及び考察

今回の測定時の室温は天然仕様住宅で平均31.5°C (居間：32.1°C, 寝室：30.8°C), 一般仕様住宅で平均32.6°C (居間：31.5°C, 寝室：33.7°C) であった。定量した52物質の中に、厚生労働省が室内濃度指針値を提示している物質⁶⁾ はトルエン, キシレン, パラジクロロベンゼン, エチルベンゼン, スチレン, テトラデカンの6物質が含まれるが, これらはすべて検出された。このうち, キシレン, パラジクロロベンゼン, エチルベンゼン, テトラデカンは指針値を大きく下回る値であり, 指針値を超過した部屋は1部屋もなかった。指針値対象物質以外では, 天然仕様住宅でテルペン類及びTVOC濃度が高かった。以下にトルエンとスチレン, TVOC及びテルペン類について考察する。

3.1 トルエン

トルエン気中濃度の度数分布及び累積度数を Fig. 1 に, 住宅仕様別の気中濃度を Fig. 2 に示した。平均の気中濃度は138 μg/m³ であり, 65~130 μg/m³ の範囲が最も多く, 195 μg/m³ 以下の部屋が全体の約80%を占めていた。指針値260 μg/m³ を超過したのは一般仕様住宅の4部屋 (居間1部屋, 寝室3部屋)

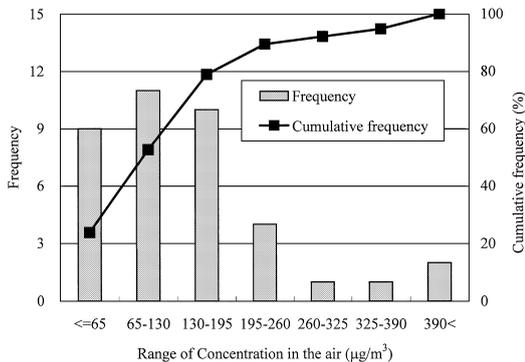


Fig. 1. Frequency distribution and cumulative frequency of toluene concentration in indoor air.

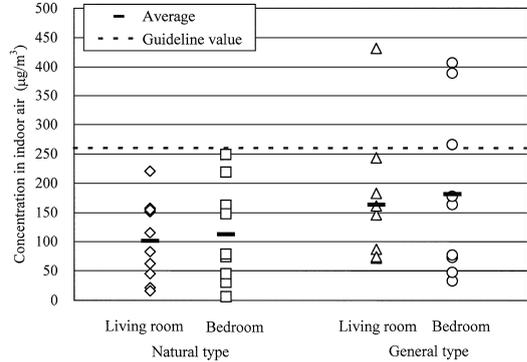


Fig. 2. Toluene air concentration in measured rooms.

Notes: Natural type rooms are mainly furnished with natural materials.

General type rooms are mainly furnished with artificial materials.

で, 全体の約11%であった。全体的に一般仕様住宅の方が高濃度の傾向にあり, 天然仕様住宅では指針値を超過した住宅は見られなかった。高濃度を示した部屋の内装には, 床に木質フローリング (ラワン合板), 壁及び天井の下地に石膏ボード, 仕上げ材にビニルクロスが使用されていた。しかし, 他の住宅でも同様の内装が施されていることや, 同一住宅においては内装の異なる居間及び寝室で同程度の気中濃度であったことから, 内装材よりも接着剤などの現場施工時に使用する材料が放散源である可能性が高いと思われる。

3.2 スチレン

スチレン気中濃度の度数分布及び累積度数を Fig. 3 に, 住宅仕様別の気中濃度を Fig. 4 に示した。平均の気中濃度は97 μg/m³ であり, 20~60 μg/m³ の範囲が最も多く, 半数の部屋は60 μg/m³ 以下であった。

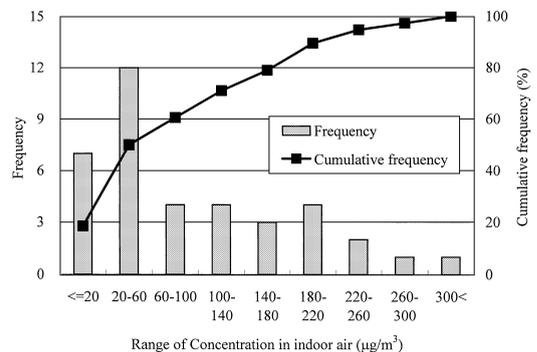


Fig. 3. Frequency distribution and cumulative frequency of styrene concentration in indoor air.

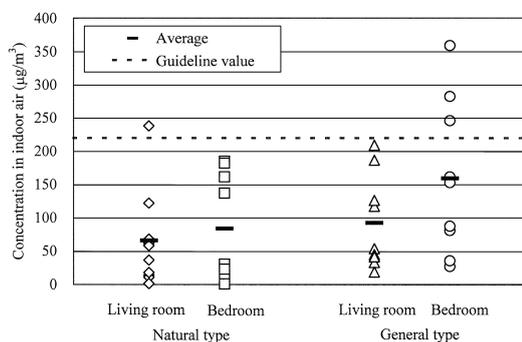


Fig. 4. Styrene air concentration in measured rooms.
Notes: Measured rooms are the same as shown in fig. 2.

指針値 $220 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超過したのは4部屋（居間1部屋、寝室3部屋）で、全体の約11%であった。平均濃度でみると、一般仕様住宅の方が天然仕様住宅より高濃度であった。一般仕様の住宅同士では内装仕様に大きな差異がないことから、トルエンと同様に施工時の材料が放散源として考えられる。しかし、一般仕様住宅においては、トルエン気中濃度が居間と寝室ではほぼ同じであったのに対して、スチレンの場合は居間よりも寝室のほうが高濃度である傾向が見られることから、トルエンとは異なる放散源である可能性が高い。スチレンの放散に関しては、最近、美装工事（クリーニング及びワックス塗布）前に測定を行った物件においては指針値超過例がまったく見られず、また美装工事に使用される一部のワックスからスチレンの放散が検知されたことが報告されている⁷⁾。今回の測定でも、指針値を超過した天然仕様住宅の部屋では測定前日にワックスを塗布しており、これが放散源となった可能性が考えられる。

3.3 TVOC 及びテルペン類

TVOC 気中濃度の度数分布及び累積度数を Fig. 5

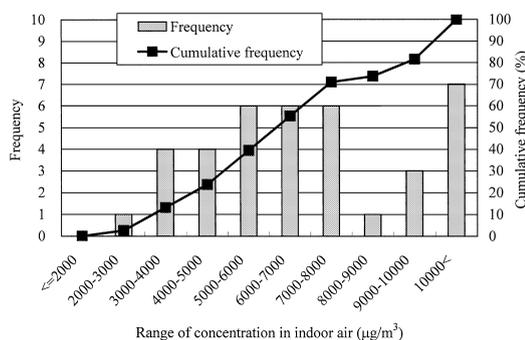


Fig. 5. Frequency distribution and cumulative frequency of TVOC concentration in indoor air.

に、住宅仕様別の気中濃度を Fig. 6 に示した。平均値は $10558 \mu\text{g}/\text{m}^3$ で、約70%の部屋が $3000 \sim 8000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲にあった。住宅仕様別では天然仕様住宅の方が一般仕様住宅より高濃度であり、 $30000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上の特異値を示すものもあった。特異値を示した部屋の内装は、床にはスギ材オイルフィニッシュ仕上げまたはヒノキフローリング、壁にはプラスチックボードに水性アクリルエマルジョンなどの塗装仕上げ、天井にはヒノキ材、スギ材またはプラスチックボードに水性アクリルエマルジョン塗装仕上げの仕様であった。また今回の調査で特異値を示した居間、寝室それぞれ2部屋については、どちらも同一住宅の居間及び寝室であったため、この特異値を示した住宅2棟の内装及びその他の仕様に起因する可能性が高く、今後更なる調査が必要であると思われる。また、一般に人工乾燥が施されたムクの木材から放散されるVOCに関しては、針葉樹の方が広葉樹よりも多く、針葉樹の中ではヒノキのTVOCが高いという結果が報告されている⁸⁾。今回の調査でも、ヒノキ材を使用している部屋ではTVOCが高い傾向にあった。従ってムク材を含む天然材料を多く使用している住宅でTVOCが高くなった原因としては、木材由来成分であるテルペン類が大きく影響していると推測される。テルペン類のうち、定量した α -ピネン、 β -ピネン、リモネンについて、住宅仕様別の気中濃度をそれぞれ Fig. 7~9 に示した。天然仕様住宅におけるこれらの物質の平均濃度は一般仕様住宅のそれらの3~10倍程度であり、非常に高濃度のテルペン類の放散がみられ、 α -ピネン、リモネンについては $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える部屋もあった。一般仕様住宅では3物質とも平均濃度が $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下であり、天然仕様住宅と比べ低く、TVOCにはあまり寄与していないことがわかった。

そこで、定量した52物質のうち、テルペン類の3

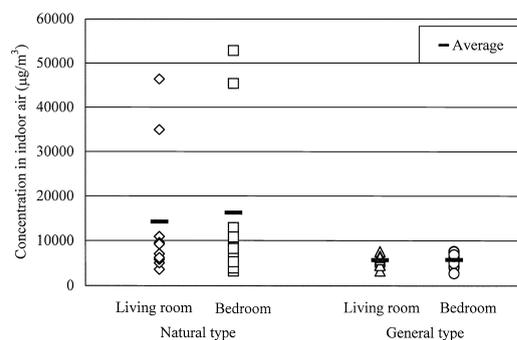


Fig. 6. TVOC air concentration in measured rooms.
Notes: Measured rooms are the same as shown in fig. 2.

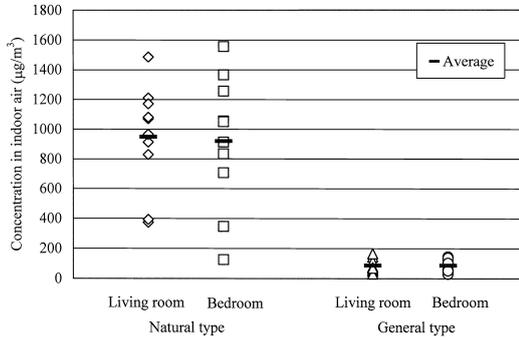


Fig. 7. α -pinene air concentration in measured rooms.
Notes: Measured rooms are the same as shown in fig.2.

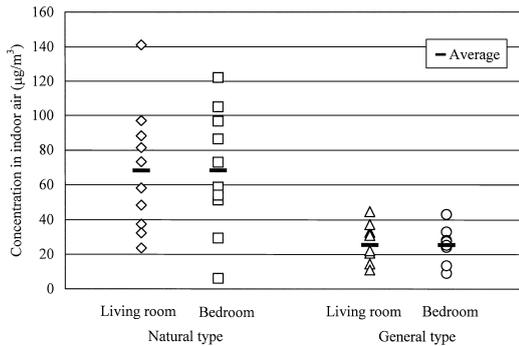


Fig. 8. β -pinene air concentration in measured rooms.
Notes: Measured rooms are the same as shown in fig. 2.

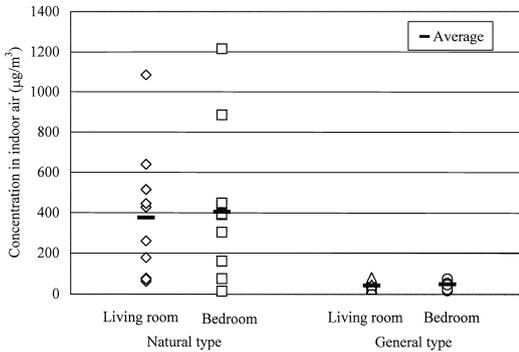


Fig. 9. Limonene air concentration in measured rooms.
Notes: Measured rooms are the same as shown in fig. 2.

物質を除いた49物質の総量で住宅仕様別に比較するため、49物質の気中濃度総和を Fig. 10に示した。テルペン類を除いた場合、平均濃度は一般仕様住宅の方が高濃度であり、上述したTVOCとは逆の結果となった。このように天然材料を多用した住宅では、テルペン類が放散の多くを占め、空気質に多大に影響していることがわかった。逆に、その他の物質に

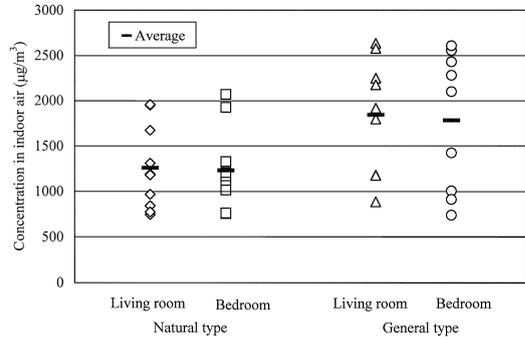


Fig. 10. Sum of air concentration from 49 substances measured, except terpenoids.

ついては加工材料を多用している住宅の方が放散が多く、天然材料からは放散が少ないことが示唆された。テルペン類が人体に与える影響としては、興奮あるいは鎮静作用⁹⁾、高濃度の吸引によるストレス状態の発生⁹⁾、短期間の吸入におけるリラックス効果^{10, 11)}など、様々な報告がなされている。しかし、住宅に居住する場合のように長期間の暴露における影響に関してはまだ不明な点が多いのが現状であり、テルペン類の健康影響に関する早期の解明が必要である。

4. 結 論

改正建築基準法施行後に新築された、天然由来材料を多用した天然仕様住宅（10棟20部屋）、複合フローリング、ビニルクロスなどの加工材料（F☆☆☆☆等級）が主である一般仕様住宅（9棟18部屋）において、VOC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) トルエンの平均気中濃度は $138 \mu\text{g}/\text{m}^3$ で、指針値を超過したのは全体の約11%であり、全体的に一般仕様住宅の方が高濃度である傾向を示した。
- 2) スチレンの平均気中濃度は $97 \mu\text{g}/\text{m}^3$ で、指針値を超過したのは全体の約11%であり、一般仕様住宅の方が天然仕様住宅より高濃度であり、一般仕様住宅においては居間よりも寝室の方が高濃度であった。
- 3) トルエンとスチレンは放散源が異なる可能性が高く、スチレンに関してはワックス等の表面仕上げ材が放散源の可能性がある。
- 4) 天然材料を多用している住宅ではテルペン類が放散の多くを占め、空気質に多大に影響していた。
- 5) テルペン類以外の物質については加工材料を多

用している住宅で放散が多く、天然材料からは放散が少ないことが示唆された。

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) 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.
- 2) 吉田弥明：“シックハウス対策の最新動向－環境設計・測定・治療－”, (株)エヌ・ティー・エス, 東京, 2005, pp.48-168.
- 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) 樋田淳平, 高塚早紀, 山田雅章, 滝 欽二, 吉田弥明：木材学会誌 **53**(1), 34-39 (2007).
- 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）室内空气中化学物質の採取方法と測定方法, 2000.
- 6) 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.
- 7) (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. 58-67.
- 8) (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. 57-73.
- 9) 谷田貝光克：木材工業 **39**(1), 3-8 (1984).
- 10) 森川 岳, 恒次祐子, 宮崎良文：第55回日本木材学会大会研究発表要旨集, 京都, 2005, p. 82.
- 11) 森川 岳, 恒次祐子, 宮崎良文：第55回日本木材学会大会研究発表要旨集, 京都, 2005, p. 192.