

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 25 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23380100

研究課題名(和文) スギ材の新たな機能開発 - 空気浄化機能発現メカニズムの解明とその居住空間への応用 -

研究課題名(英文) Development of new functions of Japanese cedar (*Cryptomeria Japonica*) - Characterization of air-purification and its application to indoor environment -

研究代表者

川井 秀一 (Kawai, Shuichi)

京都大学・総合生存学館・特定教授

研究者番号：00135609

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,400,000円、(間接経費) 3,720,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、スギ材の空気質浄化機能の解明とこれを活かす加工利用技術・建材の開発並びに健康・快適な木質環境の創成を目指したものである。まず、スギ材の汚染物質(二酸化窒素、オゾン、ホルムアルデヒド)除去機能に対する木材木口組織と抽出成分の影響を明らかにした。次いで、スギ木口スリット材(スギ板の繊維直行方向に多数の溝を等間隔に掘って木口を露出させた板材)を開発し、実大室内空間における調湿効果を検証した。さらに、スギ材室での作業時のヒトの生理・心理応答を調べ、スギ材室では作業後にアミラーゼ活性が低下、交感神経系活動増大が抑制されるとともに、居心地や、快適性が向上することを明らかにした。

研究成果の概要(英文)： This study deals with the air-purification and humidity-control performance of Japanese cedar and the effect of volatile organic compounds (VOC) emission of cedar timber on the psychophysiological human response in an indoor environment. We found the flat-sawn cedar timber processed with grooves being cut across the grain direction (called as slit timber) showed superior air-purification and humidity-control performance. The slit cedar panels set in full-scale size steel stockroom in warehouse proved the mitigation of temperature and humidity changes in stockroom.

The VOCs emitted in the room were mainly composed of delta-cadinene and other sesquiterpenes. The psychophysiological responses to the VOCs emitted from slit cedar walls showed that the inhalation of air containing the VOCs suppresses the increase in salivary alpha-amylase activity and chromogranin A secretion. The results suggested that the VOCs affect the autonomic nervous system and induce physiological relaxation.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：森林圏科学・木質科学

キーワード：スギ 空気浄化 室内環境 木材抽出成分 二酸化炭素

1. 研究開始当初の背景

伐採された木材が、その材形成の基である樹木と同様に、VOCを放出する一方で、二酸化窒素(NO_2)、オゾン(O_3)などの大気汚染物質を吸収・吸着することはあまり知られていない。木造建造物の内部では二酸化窒素、オゾン等が外気よりも70~90%減少することが、1,250年前に建設された東大寺正倉院のヒノキ材校倉やスギ材唐櫃の内部でも観察されている。校倉造り庫内では、温度、湿度が一定に保たれ、さらに、大気が浄化されてきたために、文化財の良好な保存環境が保たれたことを示唆している。木造建造物の室内環境は、文化財だけではなく、人間の居住空間としても適切なものである。

他方、京都議定書の発効に伴いわが国の森林整備が急務となっているが、間伐等の林業施業に伴い産出されるスギ材の有効利用が課題となっている。

2. 研究の目的

上述した日本の森林/環境整備の遅れとスギ材の新たな機能に着目し、本研究では、スギ材の二酸化窒素(NO_2)、オゾン(O_3)、ホルムアルデヒド(HCHO)等の空気汚染物質を対象にスギ材の空気浄化機能発現のメカニズムを解明した。

続いて、空気浄化機能を最大限に活かすスリット加工による利用技術の開発を行い、その建築内装材への適用に向けて実大室内空間における湿度や空気質の改善効果について検証を行い、技術の実用化を目指した。

さらに、スギ材に優れた空気浄化機能があること、その抽出成分にはストレス緩和効果や睡眠内容の改善効果が期待できることなどから、木質居住空間のヒトへの心理的・生理的な効果を実証し、居住者の健康改善や健康増進に寄与できる新たな居住空間を提案することを目的としている。

3. 研究の方法

3.1 スギ材の空気質浄化メカニズムの解明

「JIS「光触媒材料の空気浄化性能試験方法」(JIS R1701-1:2004)に準拠し、20の恒温に保たれた標準ガス暴露チャンパー内において、光を照射せずに一定濃度の二酸化窒素(NO_2)を一定流量下で試験体(木口あるいは板目面)表面を曝露し、曝露前後の汚染物質の濃度差の経時変化を測定した。その他、木材組織内を汚染空気が透過する実験系を新たに試作開発し、1)木材組織構造の影響、2)含有水分の影響、3)抽出成分の影響について調べた。対象とする汚染物質、二酸化窒素(NO_2)、オゾン(O_3)、ホルムアルデヒド(HCHO)等である。

3.2 木質室内環境内の湿度並びに空気質の改善効果

レンタル倉庫(大津市)内の一定体積の保管庫(内法寸法 縦200×横160×奥行185cm、

壁面4ヶ所に通気口あり)5体を対象にした。床面に合板を使用した亜鉛メッキ鋼板製の保管庫に適宜気積率を変えたスギスリット材を内装に施し、庫内の温湿度の長期変動を測定した。標準金属試料(銀、銅、および鉄製)表面の腐食を観察した。また、庫内の空気質についても適宜サンプルを採取測定して、スギ材の空気質浄化能力や調湿機能、抗酸化機能について調査、解析した。測定期間は2011年1月6日から12月8日までの約1年とした。

温湿度は、保管庫内中央、倉庫内、屋外の床・地上1.350mmに温湿度計を設置し、15分間隔で測定した。空気質は、保管庫内中央および倉庫内の空気を一定期間毎に捕集し、厚生労働省の指針値を含むVOC 48成分とTVOCを加熱脱着-GC/MS、ホルムアルデヒドとアセトアルデヒドをHPLC、テルペン類を溶媒抽出-GC/MSにより分析した。

3.3 木質住環境の見えが生理・心理・認知反応に及ぼす影響

スリット加工が施されたスギ材の観察による視覚刺激がヒトに及ぼす影響を明らかにするための基礎的検討として、板目材とスリット材を壁面内装に用い、それらの違いがヒトの自律神経活動と気分・感情に与える影響について検討した。

1)供試内装:熊本県小国産スギの板目材とスリット材(凹部幅6・凸部幅7・深さ6mm)を用いたパネルを各3種類作成した。これらのパネルによりデザイン異なる3種類(Type1~3)の壁面内装を実験室(幅3630×奥行5075×天井高2555mm)内に作成し、比較対照として未施工の壁面の実験室を加えた計7種類の壁面内装を実験に用いた(図1)。なお、実験室内の温湿度は24・50%、照度は800lxに調整した。

2)被験者:健康かつ裸眼もしくはソフトコンタクトレンズ装用で正常な視力(平均視力:1.2±0.4)を有する男性11名(年齢:22.6±1.7歳)とした。なお、本実験は京都大学大学院農学研究科研究実験倫理小委員

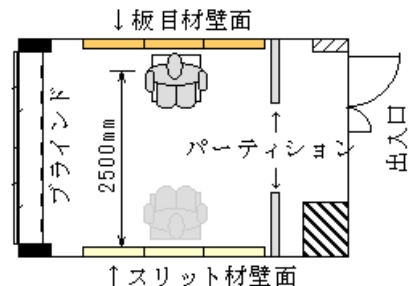


図1 実験室内の配置

会の承認により実施した。

3)実験の流れ:前室にて車椅子に座った状態で各種センサを取り付け、質問紙への回答と唾液の採取を行った。次に、臭気遮断用の活性炭マスクを装着し、閉眼状態で車椅子にて実験室へ移動した。実験室内では、閉眼・安静をとらせた後、観察姿勢により

開眼を促すことで刺激の提示を開始した。刺激の提示は、観察と質問紙への回答・安静を3回繰り返すことで行った。刺激提示終了後、閉眼状態で前室へ移動し、質問紙への回答と唾液の採取を行った。

3.4 木材由来香り成分による生理・心理応答と自律神経活動

空気浄化作用や調湿機能を有するスギ木口スリット材を用いて、壁面に貼る量の多少、位置の相違、スリットの有無、材の向きなどが異なる壁面意匠を実空間に構成し、これらの視覚刺激がヒトの自律神経活動、心理反応および認知反応に及ぼす影響について、実験的な検討を進めた。

1) 供試材料と供試空間

45 で低温乾燥させた熊本県産の約40年生スギを供試材料として用いた。スリット加工を施した内装パネル(950×950 mm)を作製し、供試空間内壁に施工した。実験室概要を図2に示す。

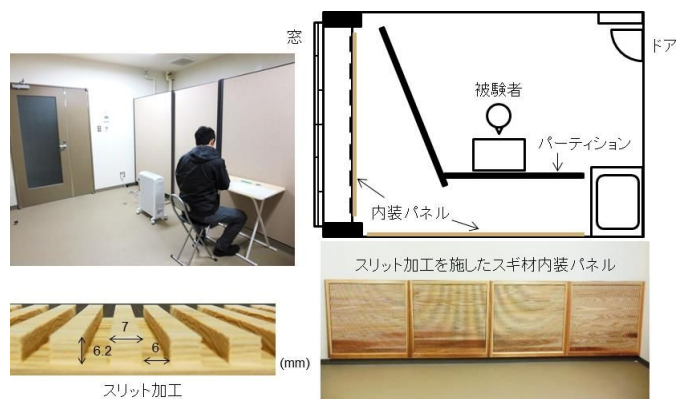


図2 実験室概要

2) VOCの捕集と分析

スギ材由来VOCの捕集には、溶媒抽出用捕集管ORBO-91Tと携帯型空気吸引ポンプを用いた。供試空間内中央部に捕集管を設置し、捕集速度は0.1 L/minに設定して、一定時間室内空気を捕集した。その後、GC-MS分析に供し成分濃度の算出を行った。

3) 心理・生理応答実験の手順

被験者は健康な男女大学生・大学院生27名とした。心電図計測用電極を装着した後に実験室に被験者を入室させ、被験者の唾液を採取した。その後、被験者に、15分間の計算作業、5分間の休憩、再度15分間の計算作業に従事させた。休憩前には被験者の唾液を採取した。全作業終了後に、被験者に調査表に記入させ、その後、被験者の唾液を採取した。心電図計測用電極を脱着させ、実験を終了した。

4) 測定項目

心拍間隔と自律神経指標の変動解析、唾液中アミラーゼ活性測定、EIA(Enzyme Immunoassay)法検査キットにより唾液中バイオマーカーの測定を行った。SD(Semantic

Differential Method)法による調査表を用い、VAS(Visual Analog Scale)法を用いて数値化を行った。

4. 研究成果

4.1 スギ材の空気質浄化メカニズムの解明

NO₂収着能の評価：NO₂ガスを仮道管内に通過させた円盤状木口試験片の収着量は板状木口試験片よりも6倍以上多いことから、仮道管内表面における寄与が高いことが明らかになった。さらに、収着量はガスと接触可能な仮道管内表面積に依存すること、収着は木口面から繊維(L)方向約3mmの範囲で生じ、木口面表面に近いほど効果が大きいこと等が示唆される結果を得た。

各乾燥処理方法におけるNO₂収着率から、脱抽出処理前は、低温処理した試料ほど収着率は高くなる傾向を示したが、処理後は各収着率に有意な差が認められなかった。この結果から、収着量は抽出成分量に大きく依存することが示唆された。

4.2 木質室内環境内の湿度並びに空気質の改善効果

各保管庫内における相対湿度は日変動が激しく、変動の程度は条件によって異なり、屋外>倉庫内>保管庫内、さらにスリット材使用量の多い保管庫ほど変動は小さかった(図3)。一方、温度変化は年間を通した大きな季節変動が確認できた。屋外の日変動が大きいものに対して、倉庫内及び各保管庫間は一様に変動が緩和されていた。

梅雨(2011年5月22日~7月8日)における保管庫の気積(5.67m³)に対するスリット材の使用面積比と湿度変化率(保管庫内日較差/倉庫内日較差×100)の関係を図3に示す。スリット材使用量の増加とともに調湿能は高くなる傾向を示し、高い相関を得たことから、スリット材による調湿機能を実大保存空間においても確認することができた。また、本実験期間内において、アルデヒド類濃度は時間経過に従って濃度の低下、金属保存状態は保管庫間で大差が認められなかったことから、今後継続して観察を続ける予定である。

梅雨(2012年6月21日~7月16日)の湿度をみると、スリット材使用量の増加とともに調湿能は高くなる傾向を示した。

湿度環境を維持湿カビの発生限界が80%、書籍の保存に望ましい範囲が40~75%であるとされていることから、スリット材を多く使用することで調湿効果が高まり、湿性カビ防止と金属の保存においては、スリット材4面張り年間通して望ましい湿度範囲が保たれていた。

ホルムアルデヒドとアセトアルデヒドの気中濃度は、気温上昇と共に増加し、低下と共に減少する傾向がみられたものの、全測定値が厚生労働省の基準値(各100.48 μg/m³)以下となった。倉庫内の気中濃度が最も高かった施工51日後について保管庫

間で見ると、スリット材使用量の増加と共にホルムアルデヒドの気中濃度は高く、アセトアルデヒドは低くなる傾向を示した。また、スリット材を施工した S2 は同一面積に板目材を施工した N2 よりホルムアルデヒドの気中濃度は低く、アセトアルデヒドは高かった。

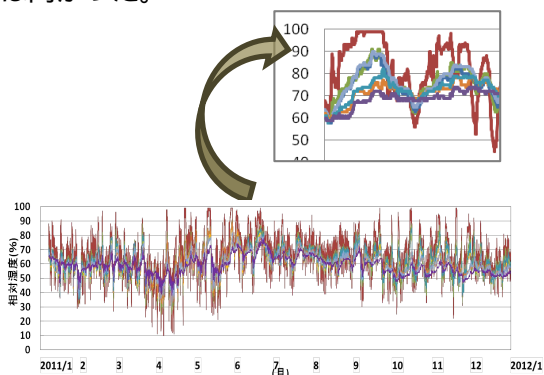


図3 保管庫内の相対湿度の長期変動

テルペン類を分析した結果、 α -クベベン、 β -クベベン、 α -カリオフィレン、 β -ムウロレン、 α -カジネンなど、主にセスキテルペン類が25成分検出された。主成分は α -カジネンであり、抗菌性が報告されている β -フムレン、 α -カリオフィレンも含まれていた。

4.3 木質住環境の見えが生理・心理・認知反応に及ぼす影響

自律神経活動の測定結果のうち、刺激提示前後における収縮期血圧の変化をみると、Controlの壁面では刺激提示後に上昇する傾向がみられたのに対し、スギ材を用いた壁面では低下する傾向がみられた。壁面デザイン毎にみると、Type 1では刺激提示前に比べ有意に低下したのに対し、Type 2・3では板目材を用いた壁面において全体として有意な低下は認められず、スリット材を用いた壁面では有意に低下した(図10)。また、入室前後におけるPOMS T得点の変化量を壁面デザイン毎にみると、Type 1では同等の得点を示したのに対し、Type 2・3ではスリット材は板目材に比べ低い得点となる傾向を示した。

本実験の結果から、板目材とスリット材を用いた壁面では異なる自律神経活動および気分・感情の変化を示すこと、スギ材使用量やデザインの条件により、スリット材壁面は板目材壁面に比べ生体を鎮静状態とすること、つまり視覚ストレスを緩和する可能性が示唆された。

4.4 木材由来香り成分による生理・心理応答と自律神経活動

木質環境とヒトの生理・心理応答の関係性に関して、スギ材空間では、空気中にスギ材由来のVOCが放出されており、

δ -cadinene を主成分とするセスキテルペン類であることが明らかになった。計算作業量について、スギ材室と対照室で比較したが、今回の実験では大きな違いは認められなかった。

生理応答の測定項目のうち、スギ材室では作業後の唾液中アミラーゼ活性増大を抑制し、すなわち、交感神経活動の抑制を示唆する状態が観察された。また、スギ材室は被験者に自然な印象を与え、居心地が良いと感じさせることが分かった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

1. 川井秀一：スギ材の空気浄化機能の解明と木質住環境のヒトへの視覚・生理・心理効果、生存圏研究、8、55 - 68 (2012)
2. E. Matsubara, S. Kawai: VOCs emitted from Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) interior walls induce physiological relaxation. Building and Environment, 72, 125-130 (2014)

〔学会発表〕(計26件)

国際学会発表

1. Banba I., Azuma K., Nakamura M., Fujita S., Tsujino Y., Uebori M., Kouda K., Kawai S., Effects of Japanese Cedar on Psychological and Physiological Factors in an Indoor Environment: The Influence of Interior Specifications, Proceedings of Healthy Buildings 2012 10th International Conference, Brisbane, 2012.
2. I. Bamba, K. Azuma, S. Fujita, Y. Tsujino, M. Uebori, A. Kimura, M. Nakamura, K. Kouda, S. Kawai: Effect of Japanese cedar on psychological and physiological factors influencing fatigue recovery in an indoor environment. Environment and Health - Bridging South, North, East and West, Aug., 2013, Basel, Switzerland.
3. S. Kawai, E. Matsubara: Wooden Habitat and Human Health- Characterization of air quality and the effect on the human health- International Symposium on Frontier Researches in Sustainable Humanosphere 2013, Nov., 2013, Kyoto Univ. Kihada Hall

国内学会発表

1. 中川美幸, 木村彰孝, 梅村研二, 川井秀一, スギ材の二酸化窒素収着における仮道管内表面の寄与, 第62回日本木材学会大会、2012年3月15 - 17日(札幌市)
2. 中川美幸, 木村彰孝, 中山雅文, 藤田佐枝子, 辻野喜夫, 梅村研二, 川井秀一, 保存空間に施工したスギスリット材の調湿効果, 第62回日本木材学会大会、2012年3月15 - 17日(札幌市)
3. 萬羽郁子, 東賢一, 仲村匡司, 甲田勝康, 藤田佐枝子, 辻野喜夫, 上堀美知子, 川井

秀一，居住空間におけるスギ材の心理的及び生理的効果に関する研究 内装仕様の違いが及ぼす影響に関する検討，平成 23 年度室内環境学会学術大会講演要旨集，94-95，2011.

4. 木村彰孝，仲村匡司，藤田佐枝子，川井秀一，スリット加工が施されたスギ材の観察がヒトに及ぼす影響 I 自律神経活動および気分・感情の変化について，第 62 回日本木材学会大会，2012 年 3 月 15 - 17 日（札幌市）

5. 仲村匡司，木村彰孝，藤田佐枝子，川井秀一，スリット加工が施されたスギ材の観察がヒトに及ぼす影響 視線移動および主観評価に及ぼす影響，第 62 回日本木材学会大会，2012 年 3 月 15 - 17 日（札幌市）

6. 木村彰孝，仲村匡司，川井秀一，配置と向きの異なるスギ材パネルの観察がヒトに及ぼす影響 自律神経活動および気分・感情の変化について，第63回日本木材学会大会，2013 年03月27日～29日（盛岡市）

7. 仲村匡司，木村彰孝，川井秀一，配置と向きの異なるスギ材パネルの観察がヒトに及ぼす影響 視線移動および主観評価について，第 63 回日本木材学会大会，2013 年 03 月 27 日～29 日（盛岡市）

8. 松原恵理，木村彰孝，中山雅文，藤田佐枝子，中川美幸，梅村研二，川井秀一，スギスリット材を施工した保存空間でのスギ材由来テルペン類の分析，第 30 回記念日本木材加工技術協会年次大会講演・研究発表要旨集，39-40，2012 年 10 月（東京都）

9. 松原恵理，梅村研二，藤田佐枝子，川井秀一，スギ材施工空間における作業時の生理・心理応答，第63回日本木材学会大会，2013年03月27日～29日（盛岡市）

10. 萬羽郁子，東賢一，藤田佐枝子，辻野喜夫，上堀美知子，木村彰孝，仲村匡司，甲田勝康，川井秀一：居住空間におけるスギ材の心理的及び生理的効果に関する研究 - スギ材設置が疲労回復に及ぼす影響の検討 -、日本室内環境学会、2012 年 12 月 15 ,16 日(東京都)

11. 木村彰孝，仲村匡司，菊地由衣：木材による単純な壁面デザインがヒトの心身に及ぼす影響 2.自律神経活動および気分・感情への影響．第64回日本木材学会大会，2014年3月13 - 15日（松山市）

12. 菊地由衣，仲村匡司，木村彰孝，八木佳子，末宗浩一，中野隆人：木材による単純な壁面デザインがヒトの心身に及ぼす影響 4. 見た目の印象の変化．第64回日本木材学会大会，2014年3月13-15日（松山市）

13. 菊地由衣，仲村匡司，中野隆人，八木佳子：木材による単純な壁面デザインが眼球停留関連電位（EFRP）に及ぼす影響．2013年度日本生理人類学会研究奨励発表会，2014年2月（大阪市）

14. 高橋けんし，矢吹正教，松原恵理，川井秀一，津田敏隆：居住空間における二次粒子生成過程に与える換気の影響、第 54 回大

気環境学会年会，P-001，2013 年 9 月（新潟市）

15. 松原恵理，川井秀一，藤田佐枝子：自覚的なアレルギー症状保有者の木材由来香りに対する生理・心理応答．第 26 回におい・かおり環境学会講演要旨集，p.66，2013 年 8 月 21，22 日（東京都）

16. 松原恵理，川井秀一，藤田佐枝子：スギ材施工空間における作業時の生理・心理応答 ．第64回日本木材学会大会，2014年3月13 - 15日（松山市）

17. 古谷真理子，三好由華，桐生智明，古田裕三，矢野浩之，川井秀一：スギ木口スリット材の吸放湿機能の向上に関する技術開発、生存圏ミッションシンポジウム、2014年3月10 - 11日（宇治市）

18. 萬羽郁子，東賢一：におい刺激による脳血流変化の検討 木材等の試料提示直後の変化 ．日本建築学会 2013 年度大会，2013 年 8 月（札幌市）

19. 萬羽郁子，東賢一：居住空間におけるスギ材の心理的及び生理的効果に関する研究 スギ材パネルの設置が睡眠に及ぼす影響の検討 ．日本家政学会関西支部第 35 回(通算 91 回)研究発表会，2013 年 10 月(大阪市)

20. 萬羽郁子，東賢一：木材等のにおい刺激による脳血流量の経時変化、第 37 回人間-生活環境系シンポジウム，2013 年 11 月（神戸市）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

川井秀一 (Kawai Shuichi) 00135609
京都大学・総合生存学館・特定教授

(2) 研究分担者

梅村研二 (Umemura Kenji) 70378909
京大大学生存圏研究所・准教授
仲村匡司 (Nakamura Masashi) 10227936
京都大学農学研究科・准教授
木村彰孝 (Kimura Akitaka) 50508348
長崎大学教育学部・助教
古田裕三 (Furuta Yuzo) 60343406
京都府立大学生命環境科学研究科・准教授
松原恵理 (Matsubara Eri) 20467898
独立行政法人森林総合研究所・研究員

(3) 連携研究者

東賢一 (Azuma Ken-ichi)
近畿大学医学部・准教授
萬羽郁子 (Bamba Ikuko)
近畿大学医学部・助教