

ソファクッションの硬さが人体に与える影響

藤巻吾朗*

Effect of Sofa Cushion Stiffness on Human Body

Goroh FUJIMAKI*

着座姿勢の安定性や生体組織の変形に伴う循環器系への影響に着目し、硬さの異なるクッションが人体に与える影響を調査した結果、1) 下肢の体液循環については、同じ姿勢であれば大腿部にかかる圧力の影響が強く、大腿部にかかる圧力を軽減することで（臀部に対して大腿部のクッションを軟らかくすることで）、下肢の血流が阻害されず、むくみの進行を抑えることができる。2) 姿勢の安定性については、臀部クッションの物理特性の影響が強く、一定荷重での変位量の時間的な変化が小さいクッションが姿勢を安定させる上で望ましい。3) ソファ全体での総合的な触感、座面に比べて背面のクッションの影響が強く、背面のクッションを軟らかくすることで触感が良くなる。ということがわかった。

また、過去の研究成果をもとに試作したソファについて、問題点や改善点を検討したところ、部位による硬さの調整は、座面は臀部と大腿部、背面は腰部と背部で調節すれば十分な効果が得られ、触感も向上することが推測された。さらには、臀部のクッションはウレタンフォームだけではなくバネ等の併用が良く、背面は最終安定姿勢を考慮した上で、触感を重視することが望ましいと考えられた。

1. 緒言

ソファに代表される休息用椅子の多くには厚みのあるクッションが使用されており、座り心地に大きく影響している。クッションは触感の向上、底つきの防止や圧力の分散、着座時の衝撃の吸収などの役割を担っており、併せて着座姿勢の安定した保持も椅子の基本的な性能として求められる。このように複雑な機能を持つクッションについては、未だ不明な点が多いのが現状である。

一方で経験的には軟らかいクッションは触感が良く、硬いクッションは疲れにくいとされている。軟らかいクッションは触感が良いことを示唆する報告は過去になされているが^{1)~3)}、クッションの硬さと疲れやすさに関する知見は不足しており、その裏付けとなるデータが求められている。

本研究では、着座姿勢の安定性や生体組織の変形に伴う循環器系への影響に着目し、硬さの違うクッションが人体に与える影響について検討を行う。また、過去の研究成果をもとに試作したクッションの問題点や改善点の抽出を併せて行う。

2. ソファクッションの評価に関する仮説

2.1 クッション評価の論理モデル

ソファクッションは大きく分けて触感と身体負担の2つの要因から評価されていることが考えられる。一般的にクッションは人による好みの差が大きいことが知られているが、これは、この2つの要因の重み付けが用途や嗜好性などの個人特性により変わるためであると考えられる。腰痛や肩こり、下肢のむくみや冷えなどの問題を抱えている人は必然的に身体への負担を重視し、身体の問題を抱えていない人は特に短時間の着座では触感を重視する傾向があると考えられる。

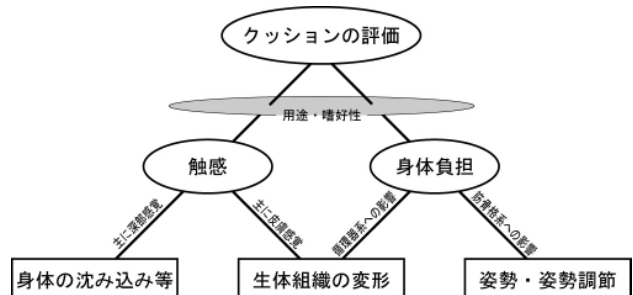


図1 クッション評価の論理モデル

* 試験研究部（シミュレーション研究室）

2.2 クッションの触感について

触感のメカニズムはまだ明らかになっていないものの、表面の性質や圧力など主に皮膚の変形により感じる感覚（主に皮膚感覚で知覚）と身体(position)や運動を感じる感覚（深部感覚で知覚）による複合的な感覚であることがわかっている⁴⁾⁵⁾。このことから、ソファクッションの評価は着座時の生体組織（皮膚、筋肉等）の変形や身体全体の沈み込みが強く関わっていることが推察される（図2）。さらに沈み込みの感覚については視覚的な影響もあると考えられる⁵⁾。

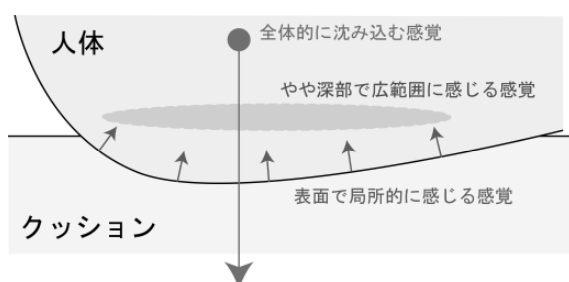


図2 触感に関する概念図

2.3 クッションと身体負担について

身体負担については、姿勢保持や姿勢を安定させるための筋活動および関節にかかる負担（筋骨格系の影響）と生体組織の変形による内部応力の増大とそれに伴う組織血液循環への影響（循環器系への影響）が考えられる。人体とクッションの接触面を局所的にみた場合には、図3のような関係が考えられる。生体組織に比べてクッションが硬い時は、姿勢は安定して保持されるが、生体組織の変形が大きく、循環器系への負担が大きい（圧痛、むくみ、しびれ等を感じる）と考えられ、生体組織に比べてクッションが軟らかい時は、生体組織の変形は小さいが、姿勢が安定して保持されず、筋骨格系への負担が大きい（肩や腰の痛み等を感じる）と考えられる。しかし、人体については身体の部位により物性が異なることが過去の研究⁶⁾で明らかになっており、上述のような関係が実際のソファクッションで成り立つか検証を行う必要がある。

3. 実験1：クッションと身体負担について

3.1 実験概要

成人男性6名を対象に各条件について、仰臥位で20分間安静にしてもらった後、試作ソファに座って20分間の映画鑑賞を行ってもらった。その際、座りなおし等の姿勢変化は避けてもらった。室内環境は温度22-23℃、湿度45-50%RHであった。

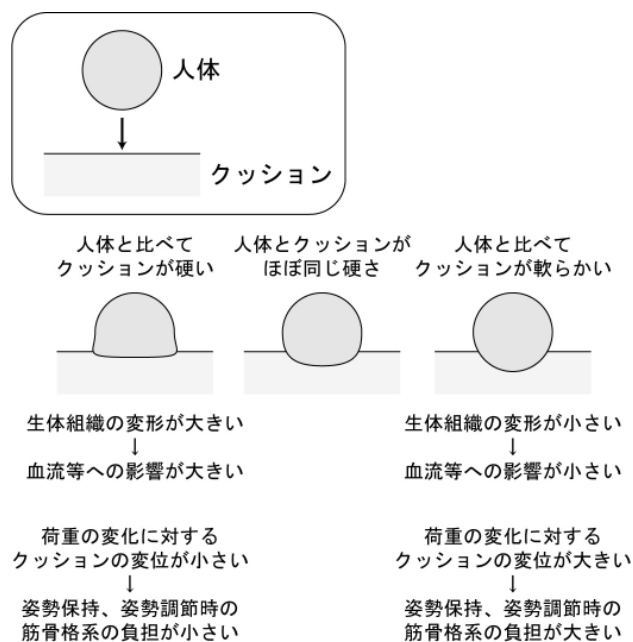


図3 クッションと身体負担の関係

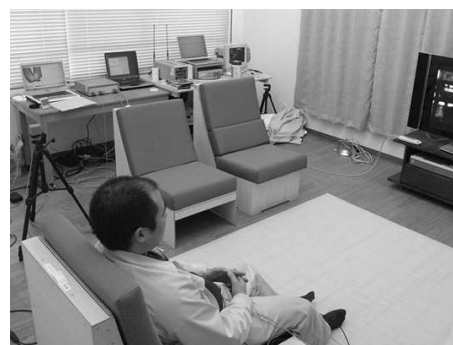


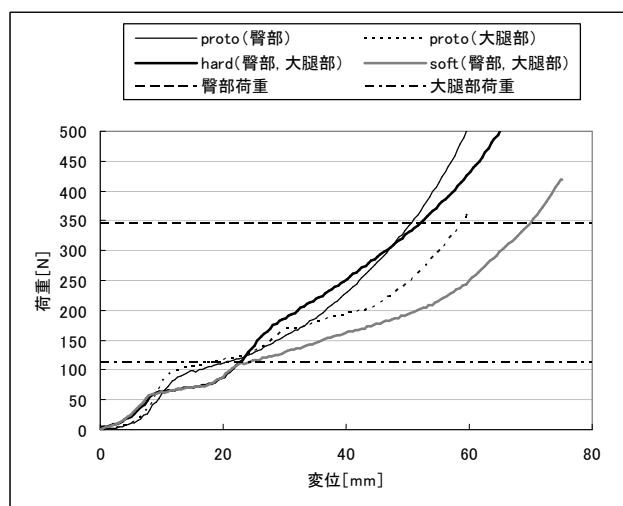
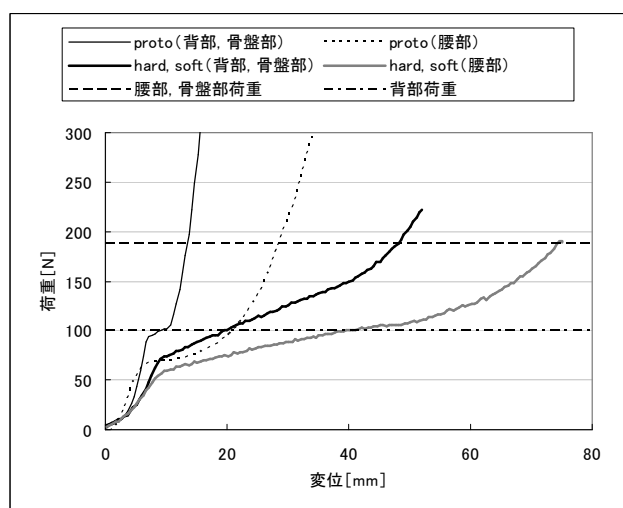
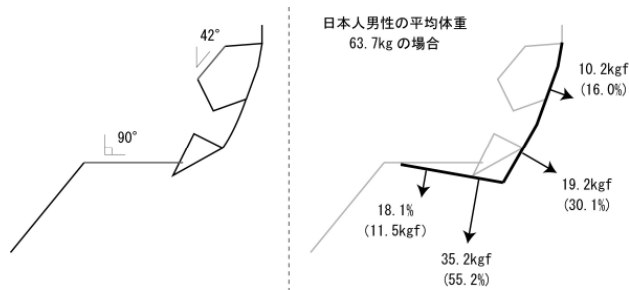
図4 実験風景

3.2 実験条件

硬さの異なる3タイプの実験用ソファを用意した（表1、図5-6）。ソファクッションの評価には着座姿勢が影響することが考えられたため⁷⁾、全ての条件での最終安定姿勢が一定となるように（図7）日本人男性の標準体型をもとにクッションの変位量を計算し、角度や寸法を調節した^{8~10)}。

表1 実験用ソファの概要

条件 1	試作クッション (proto)
	身体の部位ごとに接触面でのクッションの物性を生体組織の物性に近似させたクッション ⁶⁾ 25%圧縮時の硬さ：臀部116N、大腿部122N 腰部133N、背部239N
条件 2	座面が硬いクッション (hard) ¹⁰⁾
	25%圧縮時の硬さ：座面158N、背面61N
条件 3	座面が軟らかいクッション (soft) ¹⁰⁾
	25%圧縮時の硬さ：座面64N、背面61N

図5 座面クッション圧縮時の物理特性¹¹⁾図6 背面クッション圧縮時の物理特性¹¹⁾図7 最終安定姿勢と支持面にかかる力¹⁰⁾

3.3 測定項目

3.3.1 下肢のむくみ測定

下肢の体液循環の働きを調べるため、多周波数方式体脂肪計 (MLT-30 積水化学工業) を用いて、生体電気インピーダンス法による下肢のむくみ測定を行った。電極は、左右の外果点付近に電流電極、その上方50mmの位置に検出電極を貼り付け、

下肢の電気抵抗の変化を5分間ごとに記録した。測定結果から推定された周波数0Hz時での抵抗値をもとに逆数を求めて、その値を下肢のむくみの指標 (BI値) とした¹²⁾。下肢体積の個人差の緩和のため、臥位安静時のBI値を基準に①式で求めた値を分析に使用した。

$$\text{BI 値 (臥位基準)} = \frac{\text{BI 値}}{\text{臥位安静 20 分後の BI 値}} \quad \cdots \text{①}$$

3.3.2 体圧分布測定

体圧分布測定装置 (Xsensor X2HS Xsensor) を実験用ソファの座面に設置し、着座時の体圧分布をサンプリング周波数10Hzで記録した。着座20分後の座面の体圧分布について、接触面積、平均圧力値、最大圧力値、標準偏差を算出し、条件間の比較を行った。

3.3.3 骨盤部および胸部の角度測定¹³⁾

3次元位置センサ (ISOTRAK II Polhemus) を用いて骨盤部の角度および胸部の角度測定をサンプリング周波数1Hzで記録した。レシーバは上前腸骨棘点 (左側) および胸骨上点に貼り付けた。測定結果をもとに②式で求めた値を骨盤部および胸部の傾斜角度とした。

$$\text{傾斜角度} = \text{測定値} - \text{自然立位 10 秒間の平均値} \quad \cdots \text{②}$$

3.3.4 疲労部位調査

20分間の着座後に身体の部位14箇所および全身の負担感について7段階の評定尺度で回答してもらった。回答結果については被験者ごとに標準化した。

4. 実験2：クッションと触感について

4.1 実験概要

実験1で使用したソファについて、12名の被験者を対象にクッションの触感に関するアンケート調査を行った。

4.2 アンケート調査について

臀部、大腿部、骨盤部、腰部、背部のそれぞれの部位について「硬い感じ」「深く沈み込む感じ」「跳ね返る感じ」などの計14項目の評価カテゴリーの中から被験者が感じた感覚をチェックシート方式で回答してもらった。また、総合的な評価として、ソファ全体での触感 (良いー悪い)、姿勢 (楽ー辛い)、総合評価 (良いー悪い) を5段階の評定尺度で回答してもらった。回答結果については被験者ごとに標準化した。

5. 結果と考察（実験 1）

5.1 下肢のむくみ測定

図7に下肢のむくみ測定結果を示す。着座後10分程度までは姿勢変化による急速なむくみの変化が生じ不安定な状態となることが考えられたため¹²⁾、着座10分後からの測定値を分析に使用した。クッションの違いと時間を要因とした二元配置の分散分析をおこなった結果、時間の主効果 ($p<0.01$) および交互作用 ($p<0.01$) が認められた。このことから、下肢のむくみは時間とともに進行し、その進行度合が条件により異なることが考えられた。着座10分後以降のBI値の変化はほぼ線形に推移していることが確認されたため、被験者毎に各条件での近似直線の傾きを求め、一元配置の分散分析により条件間の比較を行った（図8-9）。

その結果、クッションの要因に主効果が認められ ($p<0.05$)、条件 1（試作クッション）は他の条件と比較して下肢の血流が阻害されないためにむくみの進行が遅かったことが考えられた。

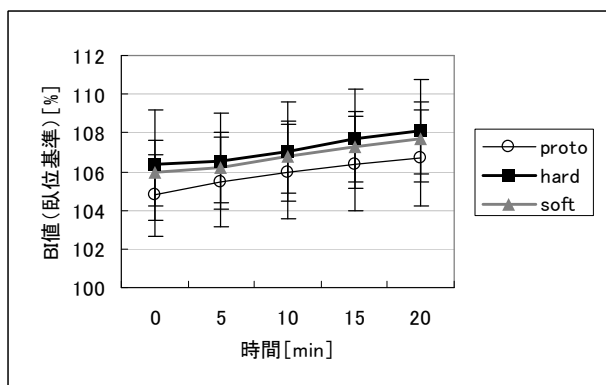


図8 下肢のむくみ測定結果

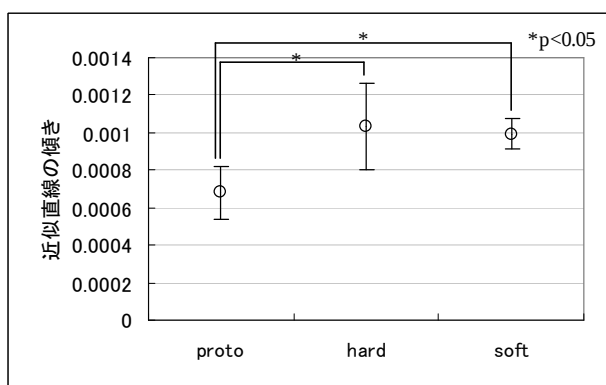


図9 下肢のむくみの進行度合の比較

5.2 体圧分布測定

着座20分後の座面の接触面積、平均圧力値、最大圧力値、標準偏差（圧力のバラツキ）について、それぞれクッションを要因とした一元配置の分散分析を行った結果、接触面積、平均圧力値、標準偏差で主効果が認められ ($p<0.05$)、最大圧力値について主効果は認められなかった。以下に結果の概要を示す。

座面が軟らかいクッションの条件は他の条件と比べて座面の接触面積が大きく、平均圧力値が低い傾向があった（図10-11）。試作クッションの条件では、他の条件と比べて座面にかかる圧力の標準偏差が大きかった（図13）。これは、他の条件では圧力が全体的にフラットに分布しているのに対し、試作クッションの条件では、臀部での圧力が高く、大腿部での圧力が低いことが原因であった。そのため、試作クッションの条件では大腿部での生体組織の変形や圧迫が小さく、下肢のむくみの進行が遅くなったと考えられる。

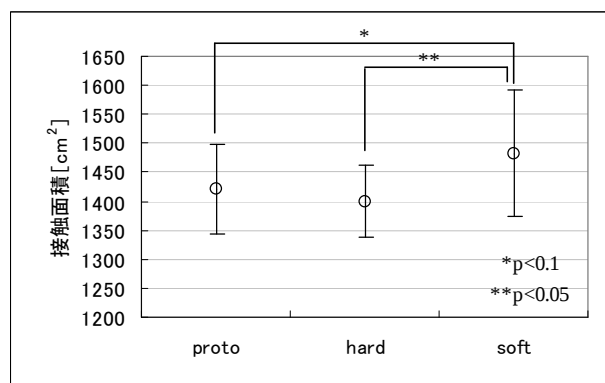


図10 着座20分後の座面の接触面積

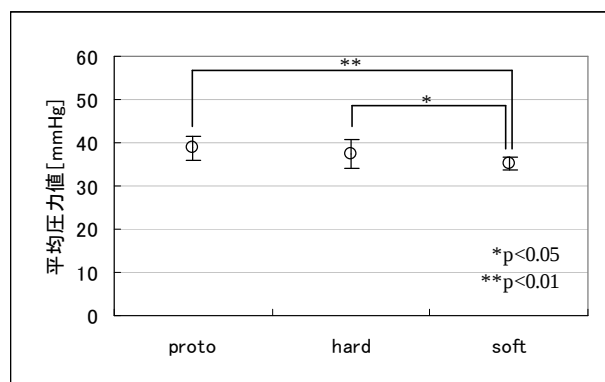


図11 着座20分後の座面の平均圧力値

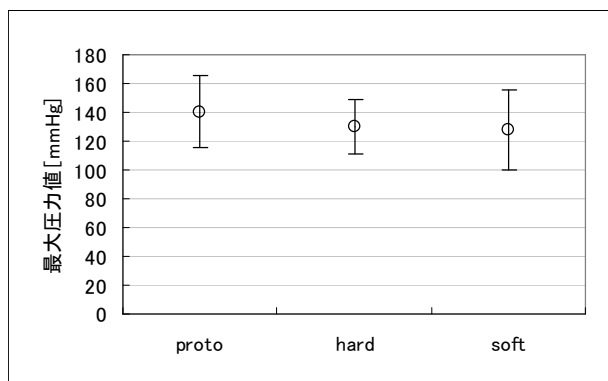


図12 着座20分後の座面の最大圧力値

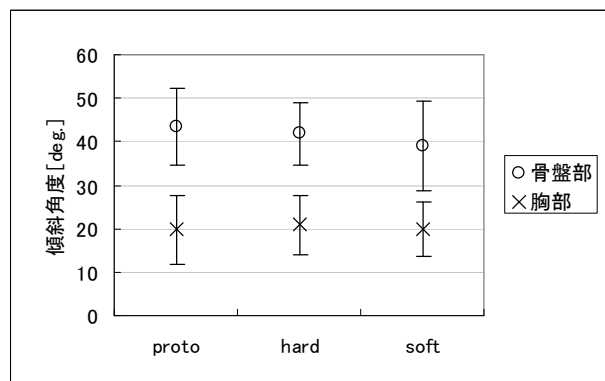


図14 着座姿勢（全被験者20分間の平均）

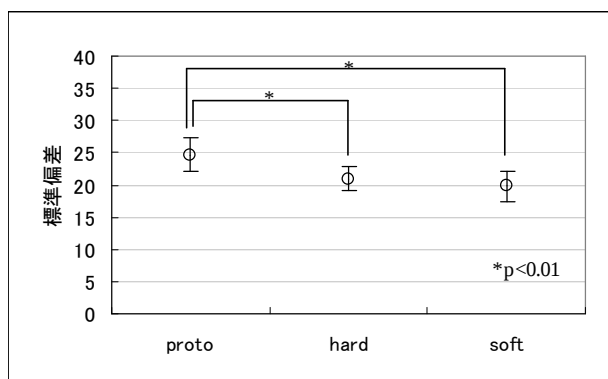


図13 着座20分後の座面にかかる圧力の標準偏差

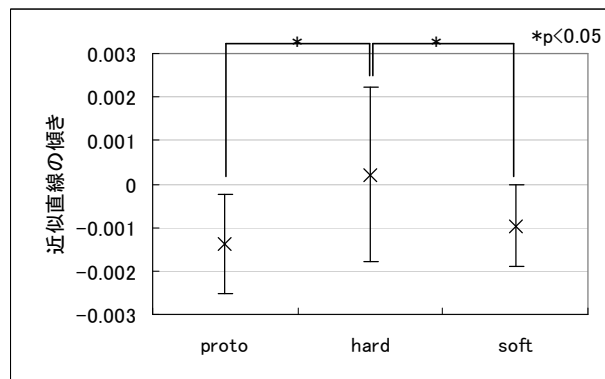


図15 胸部傾斜角の変化

5.3 骨盤部および胸部の角度測定

着座時の骨盤部および胸部の角度について、各条件での20分間の平均値を比較したところ、条件間に差はなかった(図14)。また、20分間の着座中、骨盤部および胸部角度に大きな変動はなく安定していたものの、徐々に傾斜角が変化する傾向がみられた。その傾向を調べるため、各条件で近似直線を算出し傾きを求めた。その結果、骨盤部傾斜角度に差はなかったが、胸部傾斜角については条件2（座面が硬いクッション）が他の条件に比べて着座直後からの角度変化が小さく、安定していることが確認された（ $p<0.05$ ）(図15)。他の条件については時間経過とともに胸部が前方に傾斜する傾向がみられた。これは、クッションの硬さ（荷重－変位特性）よりも一定荷重を加え続けた際の変位量の変化が影響していると考えられ（図16）、臀部が沈み込むことで姿勢の変化や荷重バランスの変化が起こり、姿勢が不安定になると考えられた。

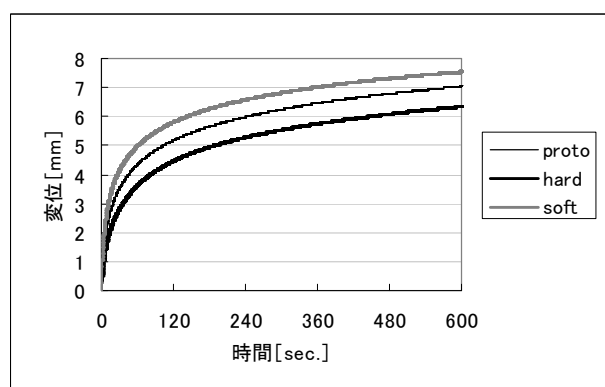


図16 一定荷重でのクッション変位の変化

5.4 疲労部位調査

各項目についてクッションを要因とした一元配置の分散分析を行った結果、いずれの項目についても主効果は認められなかった。部位別、全身の負担感とともに条件間に統計的に有意な差はみられなかった(図17)。今回の実験で使用したソファについては主観的な疲労感にあまり違いはないことが推察された。

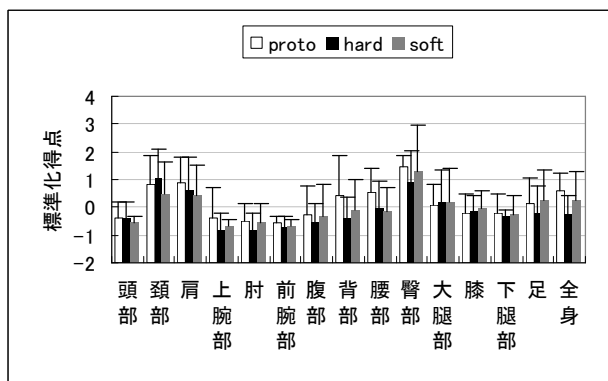


図17 疲労部位調査結果

6. 結果と考察 (実験 2)

6.1 身体の一部別の触感について

臀部については、試作クッションおよび座面が軟らかいクッションの条件で「底につく感じ」を回答する人が多かった (図18)。また、一般的に底つきは軟らかいクッションで感じるものであるが、今回の回答結果では試作クッションの条件ではむしろ硬いと感じている人が多く、今後の検討課題として挙げられた。

大腿部では、硬さの項目以外に回答数の目立った項目はなく、クッションの物理特性と人の硬さの感覚が一致していた (図19)。また、「軟らかい感じ」を回答した人が多い条件ほど「心地良い当たり」を回答する傾向がみられた。

骨盤部については他の部位と比較して回答数が少ない傾向があった (図20)。これは骨盤部が背もたれに接触しない、もしくは接触していても体重がかからないためにクッションが変形せず、知覚しにくいことが原因として考えられた。また、座面が硬いクッションと座面が軟らかいクッションの条件では背面のクッションは同じものを使用した。また、座面のクッションが柔らかいと背面のクッションも軟らかく感じる傾向がみられた。また、大腿部と同様に軟らかく感じるほど心地良く感じる傾向がみられた。

腰部については、試作クッションの条件で「硬い感じ」を回答する人が多かった (図21)。試作クッションの背面に使用したクッションについては、骨盤部、背部で硬いウレタンフォームを使用しているが、腰部では軟らかいウレタンフォームを使用しており、回答結果は腰部に使用したウレタンフォームの面積が充分ではなかった、もしくは、骨盤部や背部が硬いウレタンフォームであるため、姿勢が固定されてしまったことが影響していると考えられた。

背部については、全ての条件で硬い感じを回答

する人が多かった。また、試作クッションの条件では「コツンと当たる感じ」を回答する人が多く、それに伴い「不快な当たり」を回答する傾向がみられた (図22)。

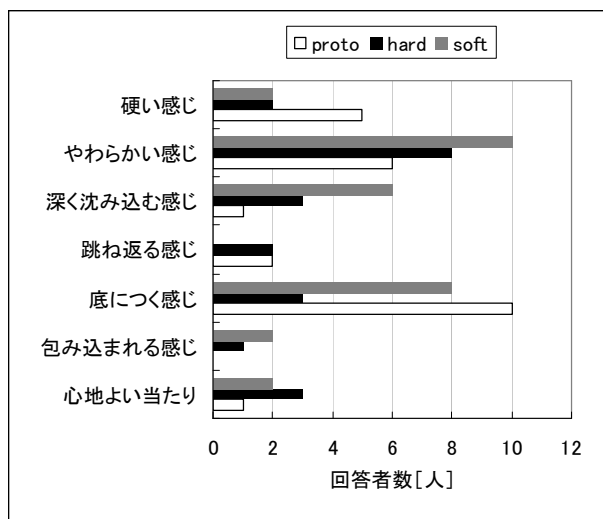


図18 臀部の触感

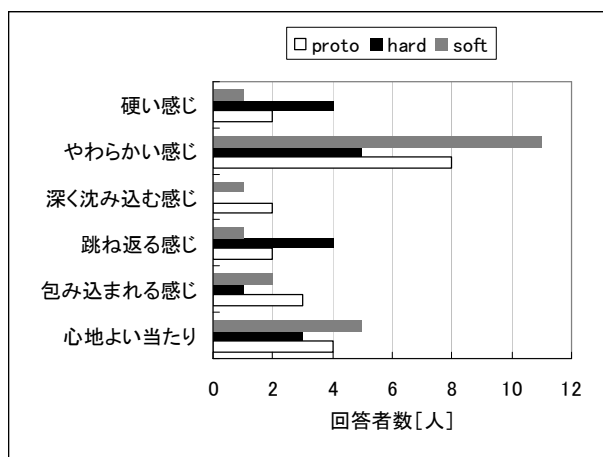


図19 大腿部の触感

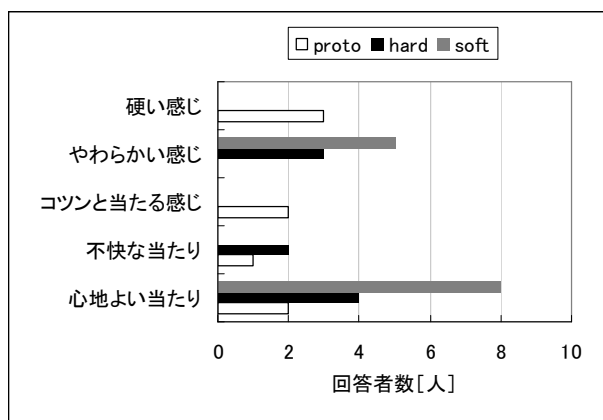


図20 骨盤部の触感

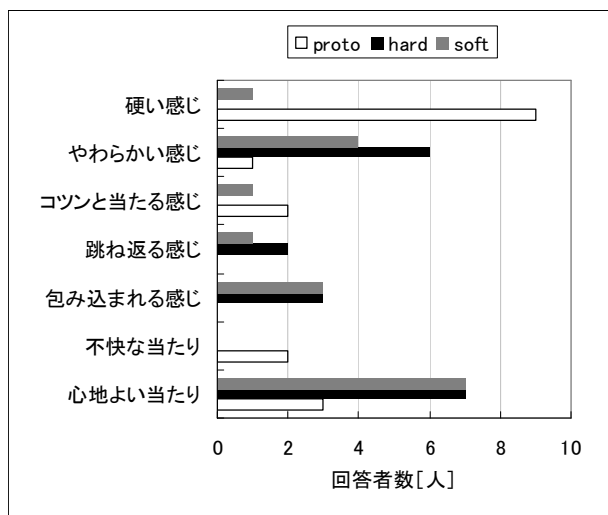


図21 腰部の触感

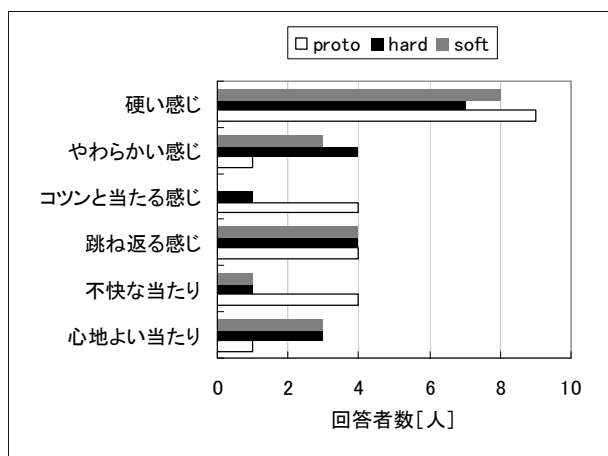


図22 背部の触感

6.2 ソファ全体での総合的な評価について

触感、姿勢、総合評価それぞれの項目についてクッションを要因とした一元配置の分散分析を行った結果、全ての項目について主効果が認められた ($p<0.05$)。多重比較の結果、試作クッションの条件では他の条件と比べて触感が悪く (図23)、座面の軟らかいクッションと比べて、姿勢が楽ではないことが確認された (図24)。実験後に被験者から聴取した意見では、腰部の支持不足を訴える人が多く、姿勢が楽ではないと感じた理由の一因となっていると考えられた。

座面の軟らかいクッションと座面の硬いクッションの条件間には全ての項目について統計的に有意な差はみられなかった。先行研究によるとクッションは軟らかい方が触感は良くなることが考えられたが、今回の実験では背面のクッションは試作クッションの条件を除き同じものを使用していたため、ソファ全体での総合的な触感の評価には

背面のクッションの触感の影響が強いことが示唆された。

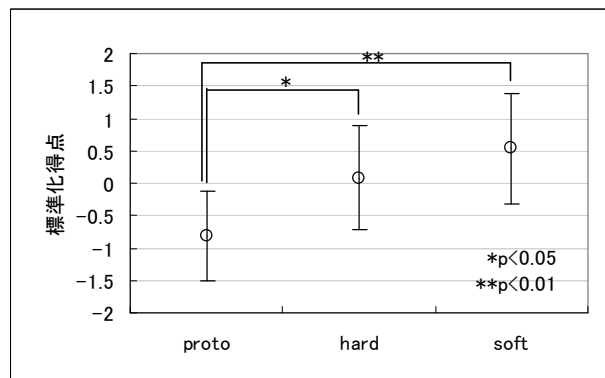


図23 触感の回答結果 (値が大きいほど良い)

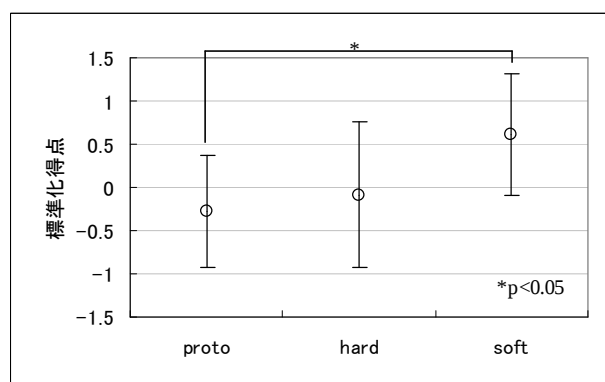


図24 姿勢の回答結果 (値が大きいほど楽)

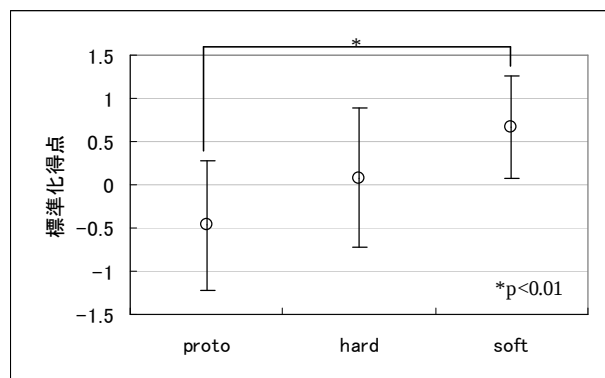


図25 総合評価の回答結果 (値が大きいほど良い)

7. まとめ

今回の実験で得られた知見を以下に示す。

- 1) 下肢の体液循環については、同じ姿勢であれば大腿部にかかる圧力の影響が強く、大腿部にかかる圧力を軽減することで (臀部に対して大腿部のクッションを軟らかくすることで)、下肢の血流が阻害されず、むくみの進行を抑えることができる。

- 2) 姿勢の安定性については、臀部クッションの物理特性の影響が強く、一定荷重での変位量の時間的な変化が小さいクッションが姿勢を安定させる上で望ましい。
- 3) ソファ全体での総合的な触感、座面に比べて背面のクッションの影響が強く、背面のクッションを軟らかくすることで触感が良くなる。

また、試作したクッションについては、現状では計7箇所硬さを調節しているが、下肢の体液循環、姿勢の安定性の観点からは、座面は臀部と大腿部、背面は腰部と背部の計4箇所の調節で十分な効果が得られ、さらに触感に関しては向上することが推測された。また、臀部のクッションは一定荷重での変位量の時間的な変化が小さいものを使用した方が姿勢は安定するため、ウレタンフォームだけではなくバネ等の併用が望ましく、背面は最終安定姿勢を考慮した上で、触感を重視することが重要であると考えられた。

謝辞

研究にご協力いただいたエルゴファニチャー研究会の参加企業の皆様に感謝します。

参考文献

- 1) Ebe, K., Griffin, M. J., Factors affecting static seat cushion comfort, *Ergonomics*, 44(10), pp. 901-921, 2001.
- 2) 川口孝泰, 上野義雪, 白石光昭, 人体系家具のクッション材料の特性に関する実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 351-352, 1985.

- 3) 小原二郎他 (編), 建築・室内・人間工学, 鹿島出版会, 1969.
- 4) 大山正, 今井省吾, 和気典二 (編), 新編 感覚・知覚心理学ハンドブック, 誠信書房, 1994.
- 5) 稲垣大他, シート感性品質評価法, トヨタ中央研究所 R&D レビュー, 35(4), pp. 9-14, 2000.
- 6) 藤巻吾朗, 岐阜県生活技術研究所研究報告, No. 12, pp. 32-36, 2010.
- 7) 西松豊典他, 座部パット硬度が自動車シートの「座り心地」に及ぼす影響, 繊維学会誌, 66(1), pp. 20-25, 2010.
- 8) 社団法人日本エム・イー学会 (編), 身体運動のバイオメカニクス, コロナ社, 2002.
- 9) 通商産業省工業技術院生命工学工業技術研究所 (編), 設計のための人体寸法データ集, 日本出版サービス, 1996.
- 10) 藤巻吾朗他, 岐阜県生活技術研究所研究報告, No. 12, pp. 29-31, 2010.
- 11) JIS K 6400-2, 軟質発泡材料-物理特性の求め方-第2部: 硬さ及び圧縮たわみ, 2004.
- 12) 川上慶, 川本貴志, 山崎信寿, 女性の VDT 作業姿勢に対応したむくみ軽減オフィスチェア, 人間工学, 43(5), pp. 252-260, 2007.
- 13) Wu, C. S., Miyamoto, H., Noro, K., "Research on pelvic angle variation when using a pelvic support", *Ergonomics*, 41(3), pp. 317-327, 1998.

家具産業におけるサービス工学の応用（第4報） RFIDリーダを用いたユーザーニーズの調査(2)

成瀬哲哉*

Applying service engineering for furniture business (4) RFID Reader for user's needs investigation (2)

Tetsuya NARUSE*

販売現場におけるユーザーニーズを取得するため昨年度に引き続き RFID タグリーダを用いて家具メーカーショールームにおいてユーザーニーズ調査を行った。

データの蓄積が進むことによって、ユーザーが好む椅子の分類だけでなく、ユーザー側の分類が可能となり、製品をレコメンド(お薦め)するためのデータ取得および蓄積が可能であることが推察された。

1. 研究の背景と目的

ユーザーニーズの調査には一般的には記入式のアンケートや聞き取り調査を用いることが多い。

しかし、上記の調査方法は多くの製品を評価するには時間がかかるため調査協力者に負担を強いることや調査対象が少数になるなど、販売現場や公の場での調査には必ずしも適していない。

昨年度の研究^{1), 2), 3)}において販売現場におけるユーザーニーズを取得するため RFID タグリーダシステムを開発し、家具メーカーショールームにおいてユーザーニーズ調査を行った。RFID タグリーダシステムを用いたアンケート方法は簡易ではあるが多量の製品評価に適しており、記入式のアンケートを組み合わせることによってさまざまな調査に柔軟に対応でき、販売現場でのユーザーニーズ調査に有用であった。

そこで今回は、より簡易にアンケートに参加できるように記入式のアンケートで取得していたデータも RFID タグリーダシステムで取得できるよう調査手法を改良し、ユーザーニーズの調査と解析を行った。

2. RFID リーダ端末を用いたショールームでのユーザーニーズ調査と解析

2.1 RFID リーダ端末

昨年度の研究において簡単な操作で多くの利用者を識別できる電子タグをキーテクノロジーとし、電子タグを読み取るための図1に示す RFID リーダ端末を開発した。

この RFID リーダ端末は ISO15693(I-CODE、Tag-IT)に対応した電子タグを読み取ることが出来、電子タグを製品に取り付け、ユーザーがタグに端末をかざして回答するような運用シーンを考慮した簡易で汎用的なアンケートシステムを構成することが出来る。また、RFID リーダの外装には木材を用い、ショールーム等での使用において違和感を与えないように配慮した。

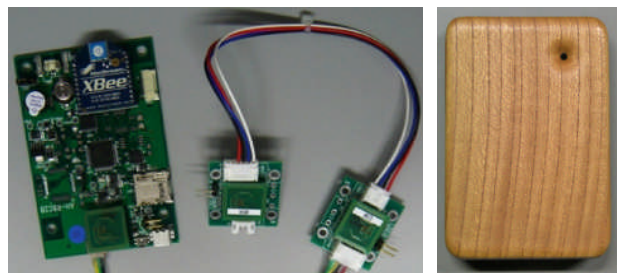


図1 アンケート端末基板と木製外装

* 試験研究部（シミュレーション研究室）

2.2 調査手法

昨年度のニーズ調査と同様に、調査協力企業のショールームにおいて、図 2 に示すように木製ダイニングチェアに 5cm×5cm の ID タグを取り付け調査を行った。調査参加者は、RFID リーダ端末を用いてショールーム内を自由に動き回り、気に入った椅子に RFID リーダ端末をかざした。

端末をかざす回数は、気に入った椅子には 1 回、非常に気に入った椅子には 2 回とした。リーダ端末は ID タグの読み取り・識別は可能であるが評価の度合いは記録できない。そのため、RFID リーダ端末をかざす回数で度合いを記録することとした。

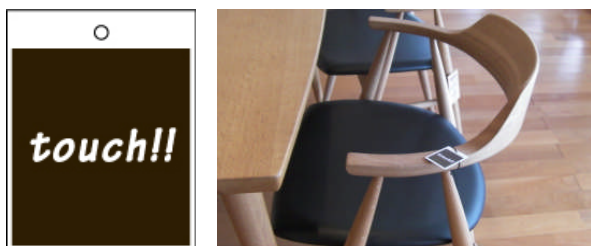


図 2 RFID タグと
ダイニングチェアへの取り付け

また、昨年度研究においては記入式のアンケートで取得していたユーザーデータも ID タグに振り分け、調査参加前には表 1 に示すユーザープロフィールを、調査終了後には表 2 に示すメーカーの認知度等を調査した。

表 1 ユーザープロフィール調査項目

性別を回答ください。				
男性		女性		
年齢を回答ください。				
20 歳代	30 歳代	40 歳代	50 歳代	60 歳以上
お住まいの地区はどこですか。				
岐阜県	東海	関東	関西	その他
ご来店の目的は何ですか。				
観光	新規購入	買い替え	買い増し	
ご来店は初めてですか？				
初めて	2 回目	3 回以上		

表 2 メーカー認知度調査項目

購入したい製品はございましたか。			
特に無し	半年以内に	それ以降に	
当社をどこでお知りになりましたか。			
雑誌・広告	知人から	コーディネータ	ネット
当社製品をお持ちですか			
持っていない	リビングセット	ダイニングセット	

アンケート用 ID タグは図 3 に示すボードに取り付け、調査端末と解説文をセットし調査協力企業ショールームの入り口付近に設置した。

ショールーム来場者は、任意により調査に参加していただいた。



図 3 アンケートボードと RFID 端末

2.3 調査場所

岐阜県高山市内の家具メーカー 2 社のショールームにて、表 3 に示す期間に木製椅子のニーズ調査を行った。

表 3 調査期間

場所	期間	調査脚数
A 社	平成 23 年 1 月 15 日(土) ～平成 23 年 2 月 27 日(日)	28
B 社	平成 23 年 1 月 15 日(土) ～平成 23 年 2 月 27 日(日)	77

また、昨年度は表 4 に示す期間で調査を行い、A 社ショールームでは 15 名、B 社ショールームでは 45 名の来場者が調査に参加した。

表 4 昨年度の調査期間

場所	期間	調査脚数
A 社	平成 22 年 1 月 30 日(土) ～平成 22 年 2 月 7 日(日)	25
B 社	平成 22 年 2 月 6 日(土) ～平成 22 年 2 月 14 日(日)	65

2.4 結果と考察

各ショールームの調査参加者は A 社では 21 名(内、有効回答者 9 名)、B 社では 28 名(内、有効回答者 24 名)であった。木製椅子のニーズ調査とユーザープロフィール調査に回答した参加者を有効回答者とした。

本実験では気に入った椅子を基に製品の関連性を分類するため、実験期間中に気に入ったとカウ

ントされなかった製品は除外した結果、A社では解析対象椅子は 28 脚中 17 脚、B社では解析対象椅子は 77 脚中 43 脚となった。

ユーザーを気に入った椅子の傾向から分類するためクラスター分析を行い、図 4 に示すデンドログラムを作成した。被験者のクラスターは 7 グループに分類され、その中でユーザープロフィール調査から傾向を読み取った。代表的な 4 グループに関して図 4 中に示す。

特に、C 群、D 群に関してはリピーターとしてショールームに訪れており購入意欲も高いことから適切な製品提案が求められると考えられる。

次に気に入られた木製椅子傾向を分類するため、クラスター分析を行い、図 5 に示すデンドログラムを作成した。

また、ユーザー分類の C 群の傾向として好まれる製品のグループを実線で、同様に好まれると考えられる製品のグループを破線で示す。

これより、C 群(男性、30 歳代、観光目的、3 回以上来場、東海地区、購入意欲が高い)が好む製品グループを類推することが出来た。

3. まとめ

販売現場におけるユーザーニーズを取得するため昨年度に引き続き RFID タグリーダを用いて家具メーカーショールームにおいてユーザーニーズ調査を行った。

データの蓄積が進むことによってユーザーが好む椅子の分類だけでなく、ユーザー側の分類が可能となり、製品をレコメンド(お薦め)するためのデータ取得が可能であると考えられた。

RFID タグリーダを用いたアンケート方法は簡易ではあり、データの集計も容易である。しかし、今回の実験のようにショールームに設置しユーザーが任意で参加する方式の場合、ユーザーに調査方法を理解していただくということは難しく、今後はタッチパネル端末を活用し、調査をナビゲートするような手法を検討する必要があると考えられた。

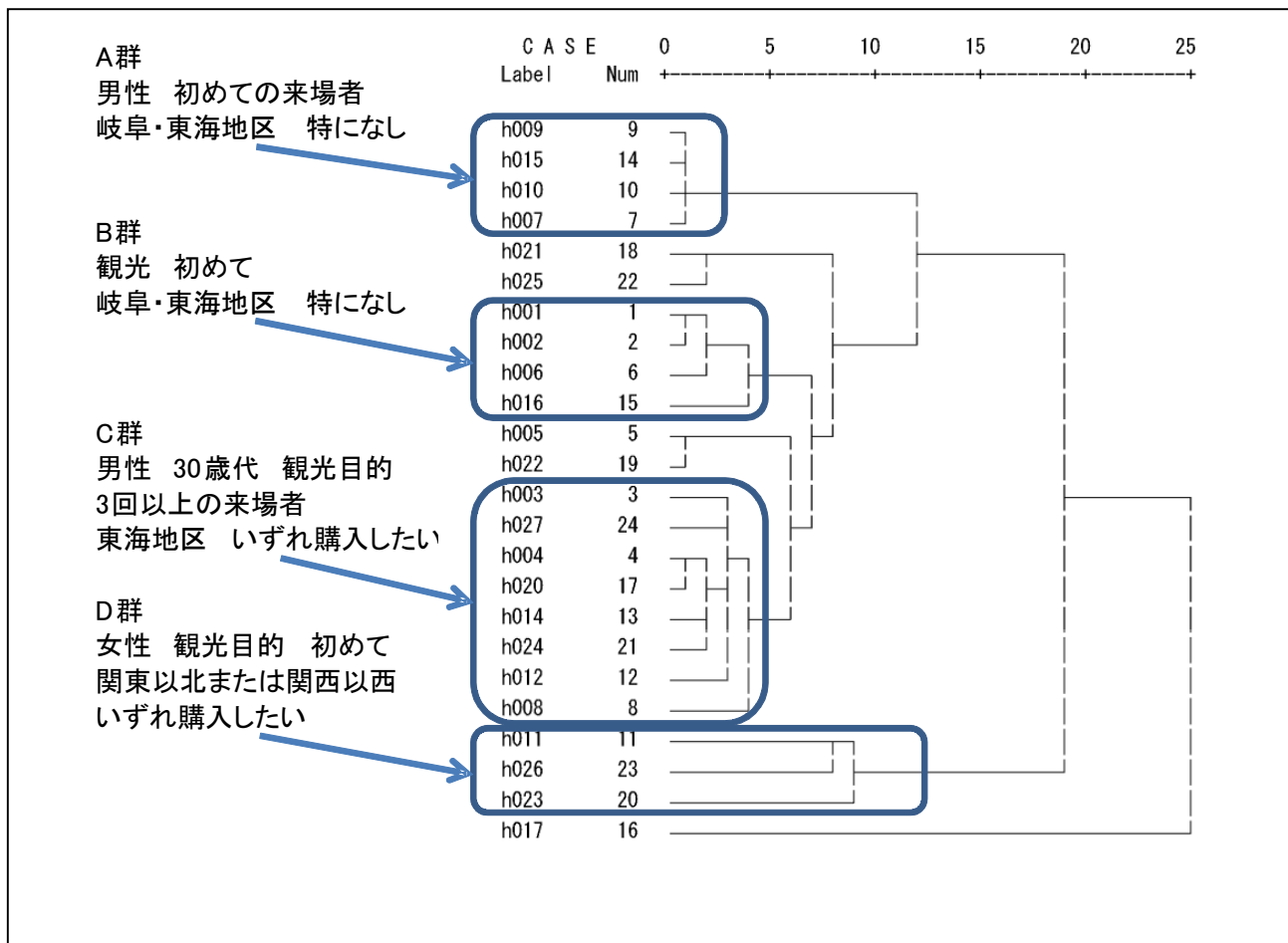


図 4 好み傾向によるユーザーの分類

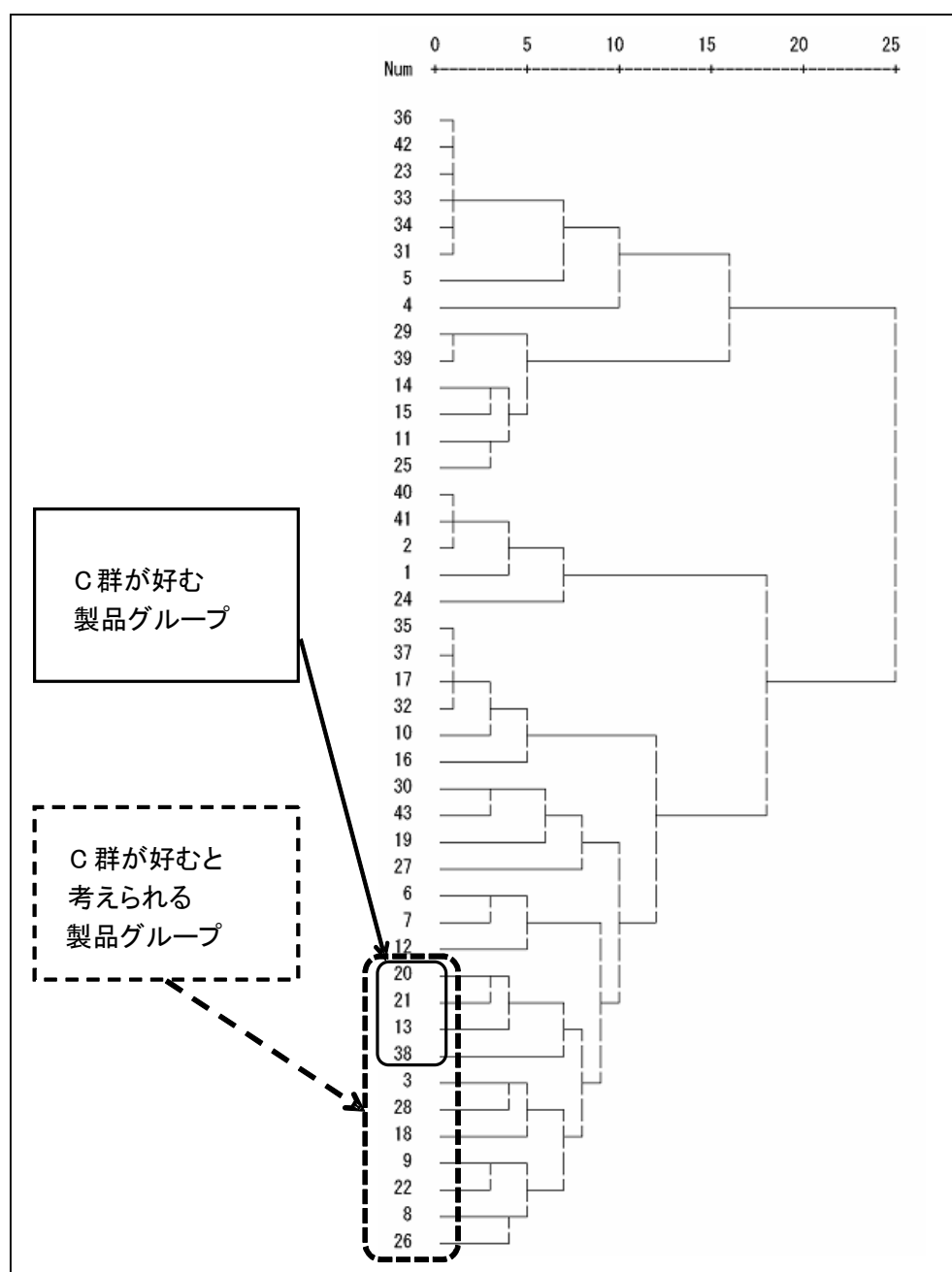


図 5 好み傾向に因る椅子の分類と昨年度調査との比較

謝辞

公開実験に参加いただきましたユーザーの皆様、公開実験の場所を提供いただき協力いただいた各社ショールームの皆様、そして、サービス工学研究会に参加いただいている家具メーカーの皆様にご感謝いたします。

参考文献

- 1) 成瀬哲哉、岐阜県生活技術研究所研究報告、No. 12、pp. 37-43、2010
- 2) 成瀬哲哉他、岐阜県生活技術研究所研究報告、No. 12、pp. 43-47、2010
- 3) 成瀬哲哉、岐阜県生活技術研究所研究報告、No. 12、pp. 48-52、2010

木製椅子の 3D データ化手法に関する研究

窪田直樹*

Making a 3D Model of Wooden Chair from some Photographs

Naoki KUBOTA*

木製椅子の販売手法の一つとして、顧客の部屋の写真と、販売店側の椅子のデータを合成し、部屋に椅子を置いたときの予想図を顧客に提示する手法を提案する。部屋の写真から 3D モデルを作成するソフトウェアは、産業技術総合研究所が開発¹⁾しており、本研究では椅子の 3D データ化と、プレゼンテーション部分の開発を行う。

今年度は、3D 化を行うためのモデリングソフトウェアの調査および 3D データフォーマットの調査およびモデリングソフトウェアの改良を行った。3D データフォーマットは 3D モデリングソフトウェアごとに仕様が異なり相互運用が困難であるが、本研究では近年普及が進みつつある COLLADA を採用し、モデリングソフトウェアに COLLADA フォーマットの出力機能を実装した。

1. 緒言

木製家具は意匠性が高く、購入の際には機能だけでなくデザインも考慮されることが多い。このとき、単にデザインが優れているかどうかだけではなく、部屋に置いたときに部屋の雰囲気と合うかどうかも重要になる。とりわけ、明るく広いショールームと自宅とでは見た目から受ける印象が異なり、顧客満足度の低下につながりかねない。

そこで、顧客の部屋の写真と販売店の椅子のデータを店頭で合成し、プレゼンテーションするためのシステムを提案する。システムは、販売店の家具の 3D 化、顧客の部屋の写真の 3D 化、両者の合成と表示の 3 つのサブシステムから構成される。顧客

客は、家具を設置したい部屋の写真を撮影し、メール等で販売店に送付する。販売店は、その写真を 3D 化し、その後、事前に 3D 化しておいた自社の家具と合成、顧客の来店時にプレゼンテーションする。ここで、部屋写真・家具ともに 3D 化するのは、どのような位置・角度から部屋や家具が撮影されても違和感なく合成するためと、室内における家具のレイアウト確認に使えるようにするためである。

すでに、産業技術総合研究所が室内立体モデル構築技術¹⁾を開発しているので、本研究では家具の 3D データ化に関して調査・研究を行った。

表1 使用CADソフトウェアの種類

企業	CADソフトウェア名	出力可能形式※	利用形態	備考
A	クレアCAD	DXF	全体図	NC加工連携
B	CAD SUPER FX	DXF/DWG/MICRO CADAM	全体図	プレゼン用に3D CADを併用
C	JW CAD	DXF/DWG	全体図	精密な情報は入れない
D	図脳ラピット	DXF/DWG/JW-CAD	部品図	
E	AutoCAD	FBX	全体図	図面の前に1/5モデル
F	クレアCAD	DXF	全体図	NC加工連携

※各ソフトウェア専用フォーマット、JPEG など画像フォーマットは除く

* 試験研究部（シミュレーション研究室）

2. 事前調査

2.1 CADソフトウェアの利用状況

家具データの3D化において、すでにCADを導入しているか、3D CADを利用しているかなどについて、県内木製家具メーカー6社にアンケートをとった。

その結果、すでにすべてのメーカーでCADを利用しており、中には手書きの図面はまったく利用していないメーカーもあった。CADソフトウェアは6社で5種類(表1)と、ほとんどのメーカーで異なるソフトウェアを利用していた。また、3D CADを補助的に使っているメーカーもあったが、基本的に2D CADとして使用していた。CADソフトウェアのデータは相互に変換ができず、DXFなどの中間フォーマットを介する必要がある。

CADの利用形態としては、図面全体を作るほか、部品単位のみ、数値が必要な部分のみといった使い方もあった。

以上のことから、現在使用しているCADのデータから家具の3Dモデルを作ることは困難であり、3Dモデルを作るには専用ソフトウェアが必要である。

2.2 イメージベースド・モデリング

3Dモデルを作るためのソフトウェアは、すでに市販のものが数多くあり、図面を見ながら、あるいは実物を計測しながらモデリングすることで、非常に精度の高いものを作成することができる。

しかし、本研究では、これとは別のアプローチとして、イメージベースド・モデリング²⁾という手法に注目した。イメージベースド・モデリングとは、対象物を複数の方向から撮影し、その写真から3Dデータを作成する手法である。通常のモデリングと異なり、現物が無い状態からデータを作ることとはできないことや、写真に写らないところは再現できないなどの問題点があるが、モデルの作成とテクスチャ(表面の模様)の取得が同時にできるなどの利点がある。

イメージベースド・モデリングにはいくつかの方法がある。一つ目は、ステレオカメラを利用する方法である。1回の撮影で形状が得られる利点があるが、装置が高価であるという欠点がある。近年テレビの3D化により低価格のステレオカメラが発売されるようになったが、3Dテレビで視聴することを前提にしているため、3Dモデリングは別途アプリケーションを開発する必要がある。二つ目は、カメラあるいは被写体をターンテーブル等で回転させ、360度あらゆる方向から撮影するものである。精度が高く高画質のデータが得られるが、装置が大掛かりになることが多い。三つ目は、被写体を様々な方向から撮影し、コンピュー

タ上で3Dデータに変換するものである。変換に手間がかかるが、手軽に撮影することができる。本研究では、三つ目の方法で3Dモデリングを行った。

3. insight3d

insight3d³⁾は、2010年11月にオープンソース(GNU AGPL3ライセンス⁴⁾)で公開されたイメージベースド・モデリングソフトウェアである。複数の角度から撮影した写真を元に、3Dモデルを作成することができる。図1に、ウェブサイトから引用した入力画像と操作画面を示す。

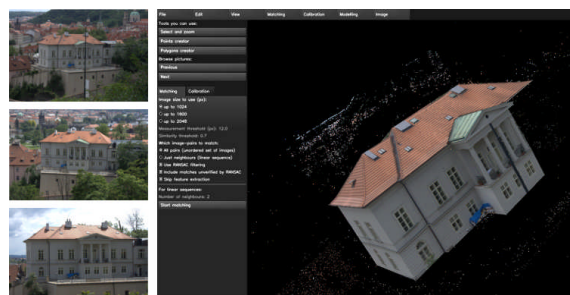


図1 insight3dの入力画像(左)と操作画面(右)

3.1 insight3dの操作

insight3dは、LinuxとWindowsの両OSで動作するように作られているため、独特のユーザーインターフェースを持っている。プログラムはC言語で記述されているが、ファイル名の操作などにCの標準ライブラリを用いているため、ファイルパスに空白文字が含まれていると誤動作する。たとえば、Windows XPではユーザーのデータが”Documents and Settings”という空白文字を含むフォルダに保存されるため、各ファイル(入力画像、保存データ、出力データ)を別のパスに保存する必要がある。

対象物の写真は、その周りを取り囲むように撮影位置をずらしながら撮影する。このとき、各写真に写る対象の重複部分が多くなるようにする。図2に、木製椅子を撮影した画像を示す。写真は、木製椅子の正面から左側面までの約90度の範囲で6枚撮影した。

撮影が終わったら、FileメニューのAdd imageを使って写真をinsight3dに取り込む。Add imageでは一度に1枚ずつしか取り込めないので、バッチリストを作りAdd list of imagesで取り込むと処理が簡単になる。

すべての写真を取り込んだ後、MatchingメニューからStart matchingを選び、画像のマッチングを行う。ここでは、各画像の特徴点(輝度変化などが見られる点)の算出と、各画像の特徴点同士の対応探索が行われる。特徴点の抽出にはSIFT



図 2 撮影画像

法⁵⁾が用いられている。SIFT法は、スケールとキーポイントの検出、キーポイントのローカライズ、オリエンテーションの算出、特徴量の記述の4段階からなるアルゴリズムで、明暗の変化、画像の拡大・縮小や回転に対するロバスト性が高い。図3に、マッチングが終了したときの操作画面を示す。木製椅子や背景の機器の随所に、検出された特徴点が四角で表示されている。

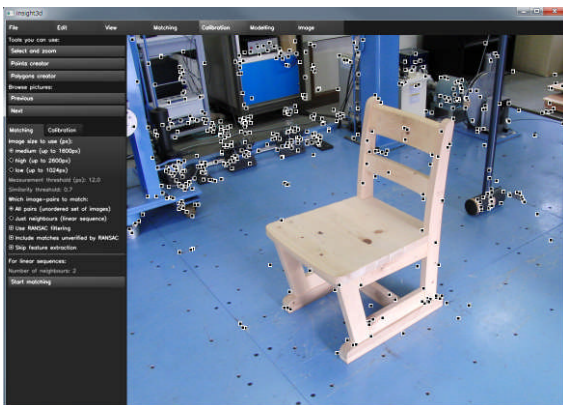


図 3 マッチング終了後

マッチングが終了した後、CalibrationメニューからAutomatic calibrationを選択する。これにより、各写真が撮影された時のカメラの位置(相対位置)と、各写真で検出された特徴点の3次元位置が算出される。図4に、カメラと特徴点の3次元位置を示す。カメラの位置と画角が四角錐で、特徴点の位置が点で示されている。

続いて、3D モデルを構成する面の抽出を行う。3D モデルは、複数の面が組み合わさって立体を構成していると考えられる。そこで、木製椅子を複数の平面の塊であると考え、各平面の頂点・辺を指定していく。このとき、各写真で同じ場所は同じ頂点を指定する必要があるが、insight3dでは、

点を指定するときに他の写真ですでに指定した頂点の周辺画像が小さく表示されるので、間違える心配が少ない。図5に面を指定した後の操作画面を、図6に完成した3Dモデルを示す。なお、イメージベースド・モデリングの性質上、複数の写真に写っていない部分や、頂点を選ぶことができなかった部分は再現できていない。

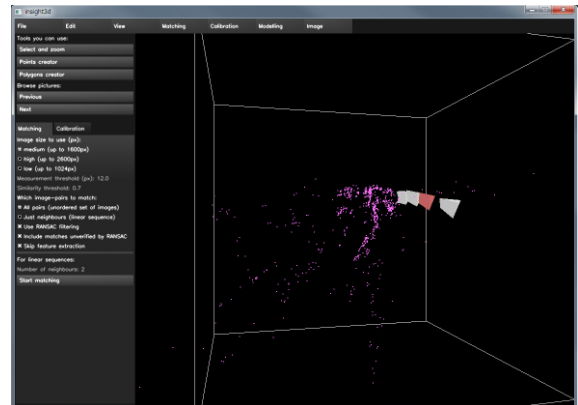


図 4 カメラと特徴点の3次元位置

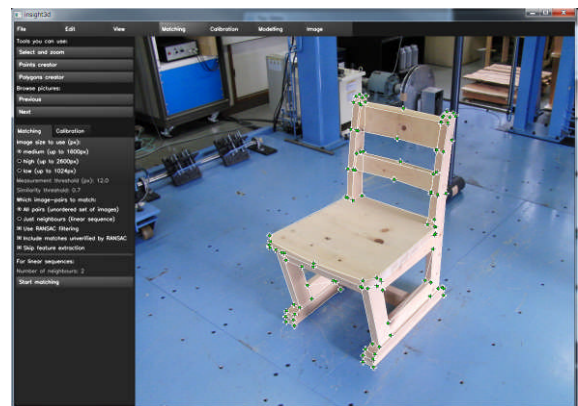


図 5 面を指定

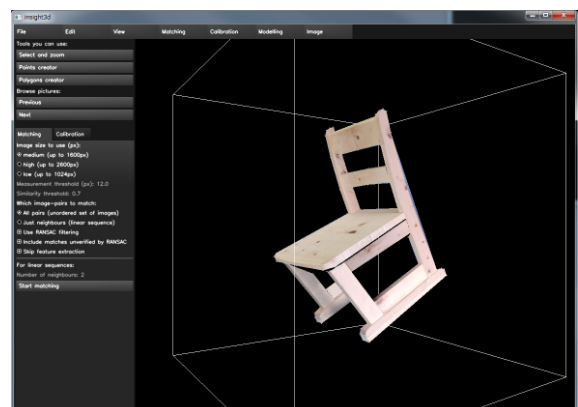


図 6 完成したモデル

3.2 insight3dの出力

insight3dで作成した3Dモデルは、他のアプリケーションでも利用できるフォーマットで出力する必要がある。

insight3dは、3dモデルの出力としてVRML形式をサポートしている。VRMLは、ウェブ上で3Dモデルを表現するために作られたフォーマットである。しかし、規格化された時代が古く、テクスチャを特定の方法でしか貼ることができないという欠点があった。図7に、VRML形式で出力し、ブラウザで表示したものを示す。頂点の色の情報を使うことができるので、全体的に茶色で再現されている(一部、背景の青色が混ざっているところがある)が、木目などの模様は再現できていない。

そこで、テクスチャも含めて出力でき、他のアプリケーションとの連携も可能なフォーマットでの出力機能を追加することとした。この条件を満たすフォーマットとして、COLLADAを選択した。

COLLADAは、3D CGアプリケーション間の交換用ファイルフォーマットとして規格化されたもので、CADアプリケーションでの採用例は少ないが、3Dモデリングアプリケーション、表示アプリケーションでは採用例が増えてきており、産業技術総合研究所の室内立体モデル構築ソフトウェアにも採用されている。また、データはアスキー形式で保存されるため、人手による検査などがしやすいという利点がある。

insight3dはオープンソースのため、ソースコードを調べて変更を加えることができる。そこで、COLLADA出力の実装を行った。COLLADAの規格が膨大であることなどから、すべての実装は困難であるが、現在、ポリゴンの出力まで実装することができた。図8に3Dモデル化したプリンターのデータを、図9にCOLLADA形式で出力しGoogle SketchUp⁷⁾で読み込んだ時の画面を示す。まだテクスチャが表現されていないが、今後、insight3d内のテクスチャデータ保管形式を解析し、COLLADA形式で出力していく。

4. まとめ

木製椅子の3Dデータ化手法として、“イメージベースド・モデリングを行うアプリケーション” insight3d”を用い、椅子の3D化を行った。今後の室内立体モデル構築技術との連携のために、作成した3DモデルをCOLLADA形式に変換するプログラムをinsight3dに追加した。

今後、COLLADA形式変換プログラムのテクスチャ出力機能、安定性等の改善を行い、室内立体モデル構築技術との連携を進めてゆく。

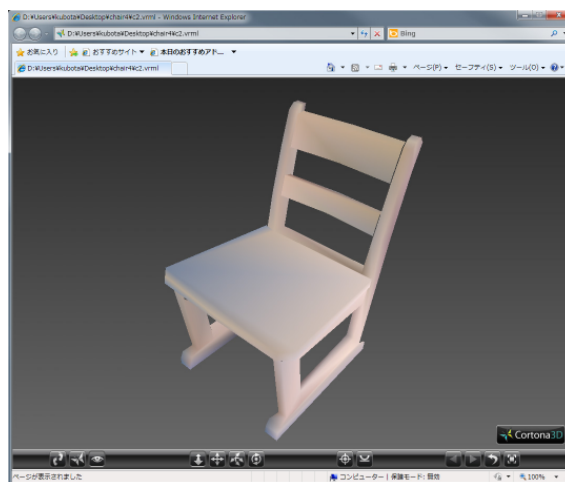


図 7 VRML 出力結果

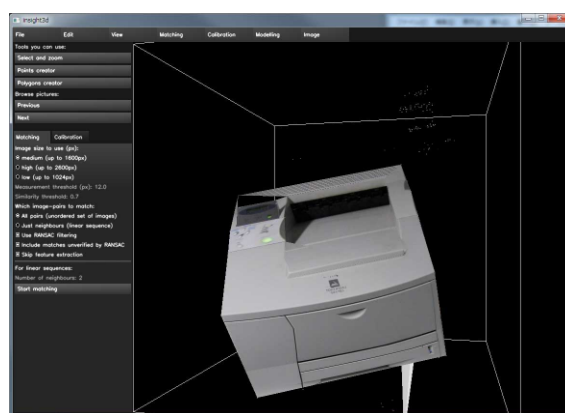


図8 3Dモデル化したプリンター

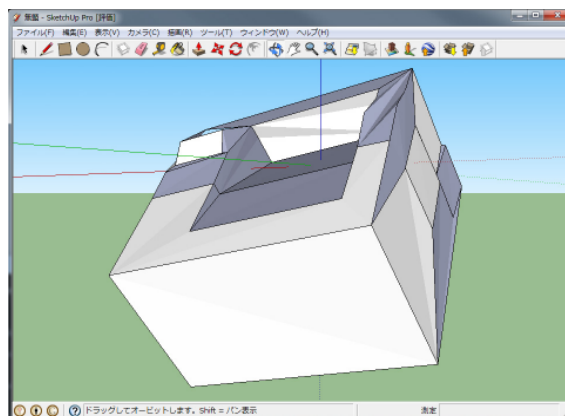


図 9 COLLADA で出力したデータ

参考文献

- 1) Tomoya Ishikawa, Thangamani Kalaivani, Takashi Okuma, Keechul Jung and Takeshi Kurata, “Interactive Indoor 3D Modeling from a Single Photo with CV Support”, IWUVR 2009 (Jan)
- 2) 佐藤洋一, “イメージベースド・モデリング/

- レンダリング”, 日本機械学会誌 1999. 10
Vol. 102 No. 971, pp611-615
- 3) Lukas mach, “insight3d”
URL:<http://insight3d.sourceforge.net/>
- 4) Free Software Foundation, “GNU Affero
General Public License”
URL:<http://www.gnu.org/licenses/agpl-3.0.html>
- 5) 藤吉弘亘, “Gradient ベースの特徴抽出
-SIFT と HOG-”, 情報処理学会研究報告,
2007-CVIM-160, pp. 223 (2007)
- 6) web|3D CONSORTIUM, “VRML97”,
URL:<http://www.web3d.org/x3d/specifications/vrml/ISO-IEC-14772-VRML97/>
- 7) Google, “Google SketchUp”,
URL:<http://sketchup.google.com/>

不随意運動減衰型描画支援システムの開発（第2報）

宮川成門^{*1}、窪田直樹^{*2}、中尾智幸^{*3}、矢野賢一^{*3}

Development of involuntary motion suppression type drawing support system (2)

Naruto MIYAGAWA, Naoki KUBOTA, Tomoyuki NAKAO, Kenichi YANO

緊張性アテトーゼ型脳性麻痺者がPCで絵を描く上で、不随意運動の影響を受けずに、ペン入力による描画を可能とする手法を検討した。その結果、運動量をコントロールしやすいように、低速度かつ速度成分により不随意運動の減衰を行う、不随意挙動減衰フィルタの開発を行った。フィルタを使用したS字の描画実験の結果、不随意運動の減衰効果を確認した。また、自由描画では蝶や花等の複雑な題材の絵を描くことができた。

1. 緒言

身体に障がいを持つ方のPC利用を支援することは、社会参加の支援につながることであり、その重要性は高い。現在、ジョイスティックやトラックボール、大型キーボードや小型キーボード等の普及により、障がい者のPC利用が可能となっている。しかしながら、不随意運動がある方にとっては、これらの機器を用いても、手の震えによる入力ミスの改善は困難なのが現状である。

本研究では、緊張性アテトーゼ型脳性麻痺者がPCを利用して絵画を作成することを目的として、PHANTOM Omni (SensAble社製、以下PHANTOM)を用い、不随意運動があっても直感的操作で絵画が描ける装置の開発を行った。前報²⁾では、ポインタ操作時における上肢の不随意運動が随意運動に比べ速度が大きかった点と、この結果から、速度に応じて加算量を変更する移動平均法を用いて、「点」の描画を可能にした事例を報告した。ただし、この手法でさらに減衰性能を得るためには、移動平均時間を長く設計する必要がある、これは時間差による操作性の悪化の問題が生じることとなる。そこで本報では、この課題を解決するために、リアルタイムに不随意運動を減衰する不随意挙動減衰フィルタを設計し、より複雑な表現である「線」を描くことを可能としたので報告する。

2. 予備実験

2.1 被験者

本研究では、被験者として緊張性アテトーゼ型脳性麻痺者のAさんに協力をいただいている。上肢の不随意運動としては、手ぶれのような弱い不随意運動と、上体および上肢全体が動く強い不随意運動がある。実験は図1のように、AさんのPC作業姿勢であるチルトリクライニングチェアへの座位状態で行い、入力デバイスとしてPHANTOMを用いた。PHANTOMのペンは、利き手の左手で把持している。また、左手の不随意運動を抑えるために、右手を左腕に押しつけている。その結果、左肘を支点としたような描画動作となっている。



図1 被験者実験風景

2.2 描画判定

前報における「点」の描画判定は、紙にペンで

^{*1} 試験研究部（生活支援機能研究室）

^{*2} 試験研究部（シミュレーション研究室）

^{*3} 三重大学大学院工学研究科

点を打つような直感的な操作に基づき、PHANTOMのペンをZ軸方向に振り下ろす移動量により行った。同様に「線」の描画判定を直感的な操作を行うには、紙にペンを下ろして描画開始、紙からペン持ち上げることで描画終了というアプローチとなる。これに必要な描画開始と描画終了の動作測定を行った結果、現時刻と0.5秒前のZ軸座標の差が50mm以上となった時点を描画開始とし、現時刻と0.16秒前のZ軸座標の差が30mm以上となった時点を描画終了とした。なお設定値は、不随意運動等によるZ軸の移動量による誤った判定がないように設定した。描画判定の概要を図2に示す。

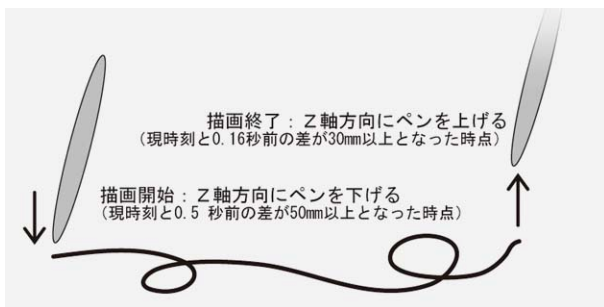


図2 描画判定概要

2.3 描画実験

2.2で決定した描画判定を用いて、線を描く上で不随意運動がどう影響を与えるのか実験を行った。描く線はなだらかなS字とし、指定した開始および終了位置で描画可能かを確認した。実験結果を図3に示す。結果は「スタート」から「とめ」の一行程の描画結果で、(a-1)～(a-3)の3試行が被験者、(b)が健常者によるものである。(a-1)では「スタート」より下の位置から描画が始まり、S字が上昇する部分で大きく上がりすぎている。

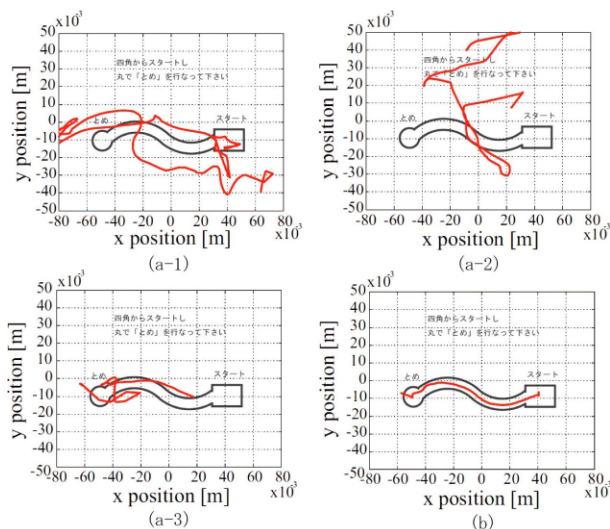


図3 線描実験結果

また描画終了に失敗したままスタート地点方向にもどっている。(a-2) (a-3) いずれにおいても、強い不随意運動による影響や、安定時(弱い不随意運動を含む)においても、健常者のように微妙な上肢の運動量をコントロールできず、描画が困難であることが分かった。なお、被験者のS字描画中の速度を解析した結果、強い不随意運動は200mm/s以上であり、安定時の運動はこれを超えない傾向が強かった。

3. 開発

3.1 不随意挙動減衰フィルタの設計

描画実験の解析結果から、被験者がポイントをコントロールしやすいように、低速度かつ速度成分により不随意運動の減衰を行うポイント動作が有効であると考えられた。設計した不随意挙動減衰フィルタの算出式を以下に示す。

$$G(i) = (1 - w(i))G(i-1) + w(i)P(i)$$

サンプル i における補正点座標 $G(i)$ は、1サンプル前の補正点座標 $G(i-1)$ 、現在の入力点座標 $P(i)$ の計測値、速度により変化する減衰重み $w(i)$ を用いて算出される。 $w(i)$ は1に近いほど $P(i)$ が優遇され、0に近いほど $G(i-1)$ が優遇される。被験者による調整の結果、 $w(i)$ の範囲は0から0.003とし、不随意運動のしきい値である200mm/sより高速(強い不随意運動を想定)ならば0、低速(安定時の運動を想定)ならば0.003に近づけることとした。この結果、ポイントの動きは低速度かつ不随意運動と思われる入力を減衰させるものとなった。

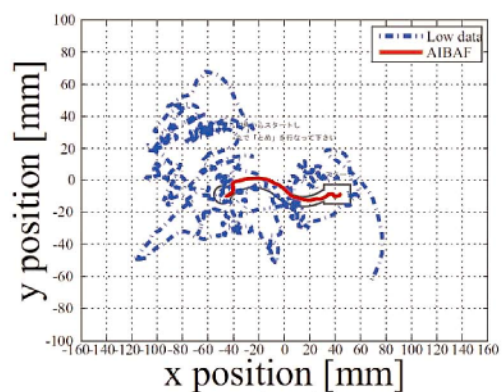
3.2 検証実験

設計した不随意挙動減衰フィルタによる描画実験を行った。描く線は2.3の描画実験同様なだらかなS字とした。描画結果を図4に示す。(a)がペイントツール上に描画された3行程の描画結果である。(b-1)～(b-3)が1行程ずつのフィルタを通した軌道(実線)と生データ(破線)との比較である。生データは大きく指定範囲のS字からそれているため、不随意運動の減衰効果が明らかであることが分かる。

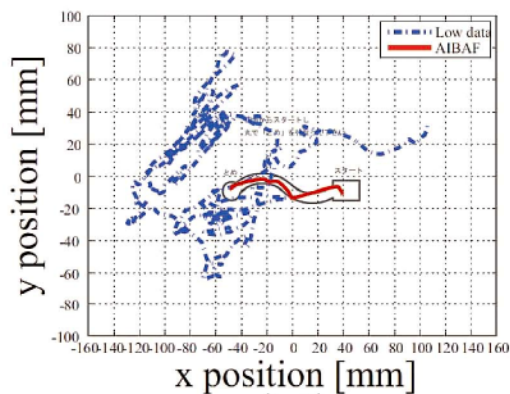
また、最も強く不随意運動が発生した動作前後の速度と減衰重み係数 $w(i)$ の変化を図5に示す。破線枠内が不随意運動が発生した時間帯であり、不随意運動の発生による速度上昇に応じて減衰度が変化し、0に限りなく近い値となっていることが分かる。その他、参考として図6に、開発フィルタを使用しない場合と使用した場合における実際の描画結果の比較を示す。



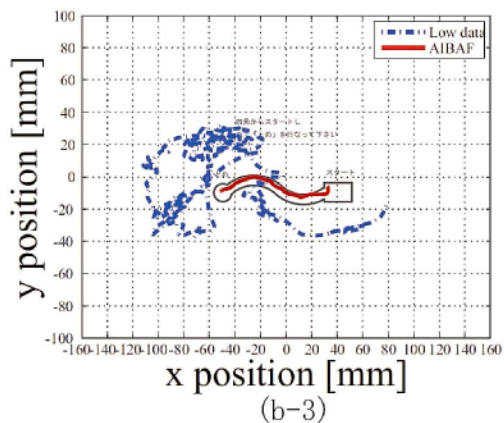
(a)



(b-1)



(b-2)



(b-3)

図4 軌道の比較 (破線が生データ、実線が描画結果)

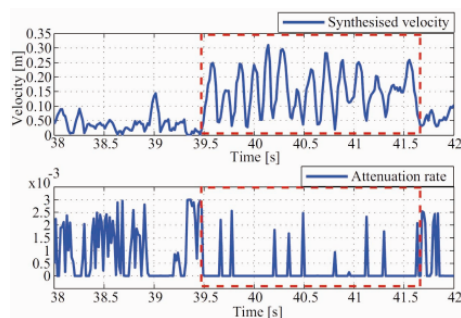


図5 減衰重みの変化



図6 フィルタの有無による描画結果比較

3.3 自由描画

開発したフィルタを用いて、被験者に自由描画を行ってもらった。描画結果を図 7 に示す。今後さらに精度を上げる必要があるが、おおよその位置に点を打つまでが限界であったのに対し、蝶や花といった複雑な題材を描きたいという、本人の意思が得られた点は大きな効果である。



図7 自由描画結果 (左) 蝶、(右) 花

4. まとめ

本研究により次のことが分かった。

- 1) 被験者が線描を行う際の上肢の動作を解析した結果、安定時（弱い不随意運動を含む）であっても健常者と比較するとポインタのコントロールが困難であることが分かった。
- 2) 被験者が線描を行う際の上肢の速度を解析した結果、強い不随意運動は、安定時の運動より速度が大きい傾向にあった。
- 3) 上記の結果、低速度かつ速度成分により不随意運動の減衰を行う不随意挙動減衰フィルタの設計を行い、線描実験結果においてその効果を確認した。なお、本報の 2.2 で用いた描画判定における Z 軸の移動量、3.1 で用いた不随意運動と随意運動の速度しきい値（200mm/s）、さらに減衰重みとなる $w_{(i)}$ の範囲（0～0.003）は今回の被験者用に設定したものであり、利用者に応じた調整が必要である。

謝辞

本研究は文部科学省地域イノベーションクラスタープログラム（都市エリア型）岐阜県南部エリア事業「モノづくり技術と IT を活用した高度医療機器の開発（上肢・下肢動作支援ロボットの開発）」（中核機関：岐阜県研究開発財団）の一部として行ったものある。

参考文献

- 1) 中尾智幸他：緊張性アテトーゼ型脳性麻痺を対象とした描画支援システムの開発，生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会 2010 講演論文集，pp82-83，
- 2) 宮川成門他：岐阜県生活技術研究所研究報告，No. 12，pp19-24，2010

未利用バイオマスの資源有効利用（第1報） 木材・プラスチック複合材の曲げ性能に及ぼす木粉の調製方法の影響

今西祐志^{*1}，足立隆浩^{*2}

Effective Utilization of Unused Biomass as Material Resource (I) Effect of Wood Flour Preparation Method on the Bending Property of Wood/Plastic Composites

Hiroshi IMANISHI^{*1}, Takahiro ADACHI^{*2}

木材・プラスチック複合材の曲げ性能を向上させるため、原料である木粉の調製方法について検討した。微細化，高アスペクト比化，相容性向上の観点から，湿式磨砕，オゾンによる前処理，疎水化，プラスチックとの機械的複合化を試みたところ，曲げ性能向上には高速回転での湿式磨砕，オゾンによる前処理，アセチル化が有効であった。また，木粉の分散性向上には変性ポリオレフィン樹脂水性分散体との機械的複合化が有効であった。

1. 緒言

木粉と熱可塑性プラスチックを混合して加熱溶解し，混練・成形した複合材（木材・プラスチック複合材：WPC）^{1,2)} は，低品質の木質バイオマスを有効活用する手段として注目されており，現在，デッキやフェンスなどの建材用途を中心に利用が広がっている。WPCのさらなる利用拡大のために新たな用途展開が期待されているが，そのためには強度面などでのさらなる性能向上が必要である。本研究では，WPCの曲げ性能に着目し，その改善に向けた検討を実施した。とくに木粉の調製方法（微細化，高アスペクト比化，化学修飾による改質，機械的複合化）が曲げ性能に与える影響について検討した。

2. 実験方法

2.1 木粉の調製

気乾状態（含水率約12%）のスギ（*Cryptomeria japonica*）を，φ2mmのスクリーンを取り付けたカッターミル（（株）ホーライ，B0-210）により粉砕して一次粉砕物を作製した。これを二次粉砕または化学修飾して木粉を調製した。木粉調製手順の一覧を図2.1に示す。

2.1.1 湿式磨砕

木粉を微細化，高アスペクト比化するため，一次粉砕物を5wt%の水懸濁液として湿式磨砕を行った。磨砕機には，微粉砕用砥石（増幸産業（株），MKE6-46）を取り付けたディスクミル（増幸産業（株），MKCA6-2）を使用した。回転速度は1000，2000，3000rpmとした。これらによって得られた木粉をそれぞれDM1，DM2，DM3と称す。

2.1.2 オゾンによる前処理

湿式磨砕の前処理として，一次粉砕物のオゾン処理を行った。オゾンによりリグニンを選択的に破壊することで，湿式磨砕でのさらなる高アスペクト比化が期待できる。木粉を攪拌しながらオゾン発生器（エコデザイン（株），ED-OG-AP1）で発生させたオゾンにさらした。オゾン発生量は2g/h，処理時間は1hとした。オゾン処理後，先の湿式磨砕を2000rpmにて実施した。これにより得られた木粉をO-DM2と称す。

2.1.3 機械的複合化

湿式磨砕時にプラスチックを機械的に複合化して木粉とプラスチックを相容化させる手法を検討した。一次粉砕物の5wt%水懸濁液に変性ポリオレフィン樹脂水性分散体（ユニチカ（株），SA-1200）または水溶性熱可塑性樹脂（明成化学工業（株），R-150）を，固形分が一次粉砕物に対して10wt%となるよう添加し，先の湿式磨砕を2000rpmで実施した。これらにより得られた木粉をそれぞれMA-AB，MA-ALと称す。

^{*1} 試験研究部（生活支援機能研究室）

^{*2} 試験研究部（木質材料研究室）

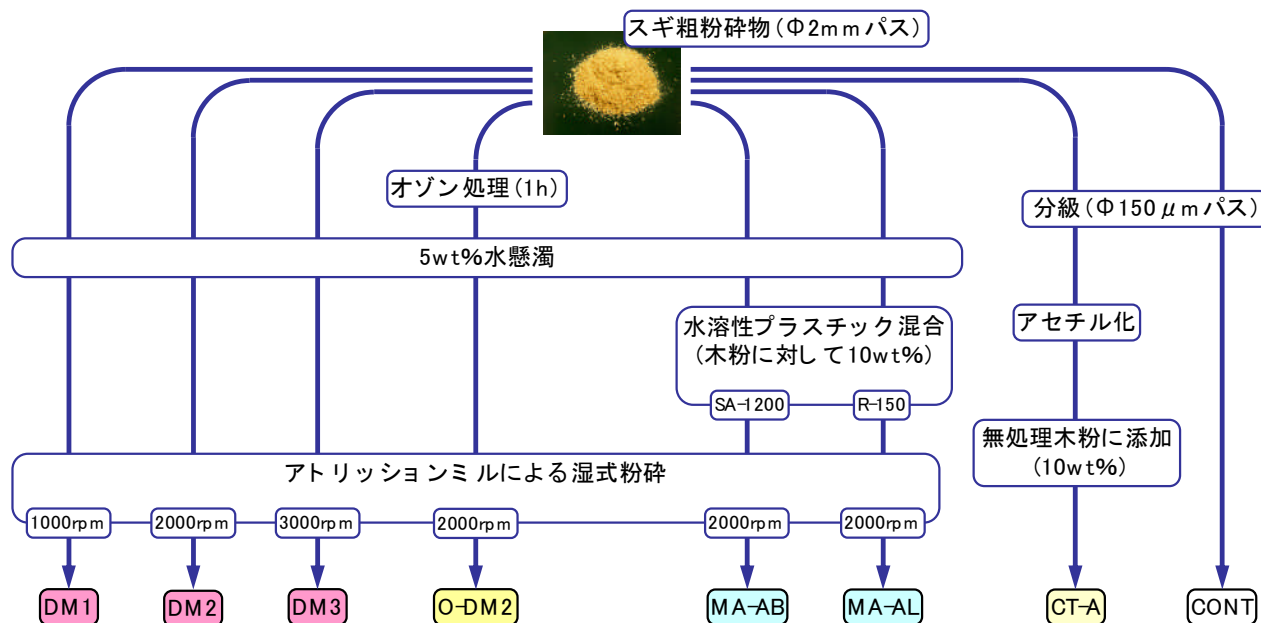


図 2.1 木粉調製方法一覧

2.1.4 化学修飾による疎水化

親水性である木粉と疎水性であるプラスチックとの相容性を高めるため、木粉の一部疎水化を検討した。一次粉碎物をふるい振盪機により分級し、粒径 $150\mu\text{m}$ 以下の木粉を無水酢酸によりアセチル化した。これと粒径 $150\mu\text{m}$ 以下の無処理木粉を混合し、アセチル化木粉を10wt%含む混合木粉を調製した。これにより得られた木粉をCT-Aと称す。

また、比較用に粒径 $150\mu\text{m}$ 以下の木粉を使用した。これをCONTと称す。

2.2 押出成形

WPCの板材を押出成形により作製した。まず、木粉充填率が70wt%となるようプラスチックおよび相容化剤を混合し、 180°C で熔融混練してコンパウンドを作製した。プラスチックは、ポリプロピレン（日本ポリプロ（株）、ノバテックPP BC6DR、ランダム系、MFR=2.5）を使用した。また、木粉とプラスチックの相容性を高めるための相容化剤として、無水マレイン酸変性ポリプロピレン（化薬アクゾ（株）、カヤブリッド 006PP）を使用した。次に、コンパウンドを 105°C で乾燥させ、 180°C で押出成形して断面寸法が幅 $60\times$ 厚さ 3mm の板材を作製した。熔融混練および押出成形には混練押出試験装置（（株）東洋精機製作所、4C150、2軸押出装置、2D25S）を使用した。

2.3 曲げ試験

押出成形体について曲げ試験を実施した。試験体は、その軸方向が押出方向に一致するように採

取した。試験体寸法は幅 $20\times$ 厚さ $3\times$ 長さ 70mm で、試験体数は各条件で6体である。支点間距離は 60mm で、試験速度は $3\text{mm}/\text{min}$ である。試験には材料試験機（株）島津製作所、AG-50kN）を使用した。

3. 結果と考察

3.1 木粉の性状

図3.1に、湿式磨砕により得られた木粉（DM1，DM2，DM3，O-DM2）を示す。いずれももとの木材の構造が確認できないほど微細化されており、太さ数 μm の繊維の集合体となっている。湿式磨砕時の回転速度による性状の違いは確認できない。図3.2は、一般的な木粉の製造方法であるカッティングミルにより得られた木粉粒子（CONT，粒径 $150\mu\text{m}$ 以下）である。先の湿式磨砕された木粉とは異なり、木材の細胞構造が残っており、太さ数 μm の繊維はほとんど見られない。

図3.3は、湿式磨砕およびカッティングミルにより得られた木粉の単位重量体積である。湿式磨砕により得られた木粉はカッティングミルにより得られたそれよりも単位重量体積が大きく、かさ高い。これは高アスペクト比化を示しているものと考えられる。湿式磨砕の前にオゾン処理を行ったもの（O-DM2）については、その外観は他の湿式磨砕物と同様に太さ数 μm の繊維の集合であったが、単位重量体積は小さくなっている。これは粒子どうしの絡まり合いによる凝集が顕著であったことが原因と推察される。

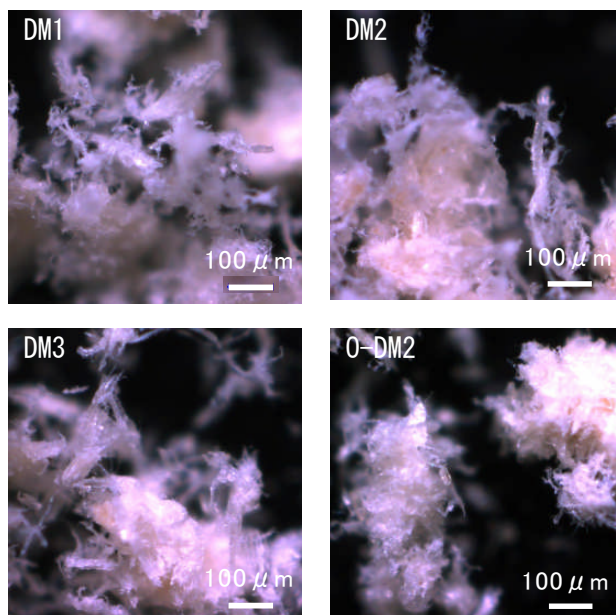


図 3.1 湿式磨砕により得られた木粉
DM1, DM2, DM3, O-DM2 : 図 2.1 参照。

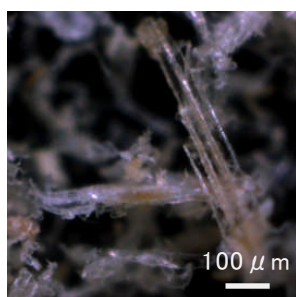


図 3.2 カッターミルにより得られた木粉 (CONT)

3.2 押出成形

図3.4に押出成形の結果を示す。湿式磨砕のみを行った木粉 (DM1, DM2, DM3) については、湿式磨砕時の回転速度が大きいほど吐出速度は大きく、トルク及び樹脂圧力は小さくなる傾向が見られた。CONTと比較すると、吐出速度はいずれの木粉も下回っているが、トルクと樹脂圧力については、DM1は上回り、DM2は同等、DM3は下回っている。一方、オゾンによる前処理を行った湿式磨砕木粉 (O-DM2) については、吐出速度、トルク、樹脂圧力のいずれも高い。また、湿式磨砕時にプラスチックとの機械的複合化を行った木粉 (MA-AB, MA-AL) については、MA-ABのトルク、樹脂圧力が小さくなっており、流動抵抗が低下したものと考えられる。これは、一部をアセチル化した木粉 (CT-A) についても同様である。

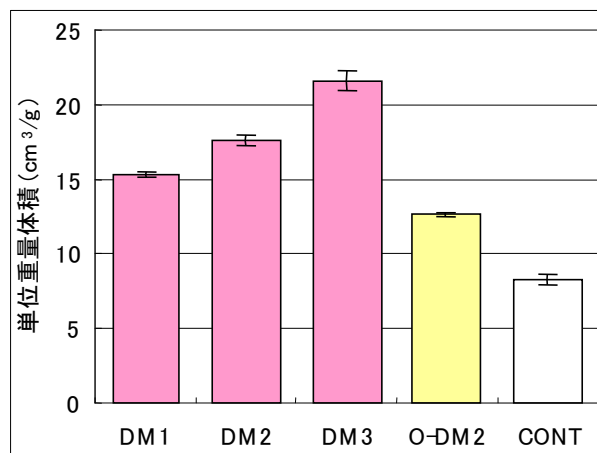


図 3.3 木粉の単位重量体積
DM1, DM2, DM3, O-DM2 : 図 2.1 参照。

3.3 成形体の外観

図3.5は押出成形体の外観である。ここでは、湿式磨砕時の回転速度が2000rpmの木粉の押出成形体を示した。いずれの成形体でも木粉どうしが凝集した白い斑点が見られるが、変性ポリオレフィン樹脂水性分散体を機械的複合化したもの (MA-AB) ではその斑点が比較的軽微である。これは木粉の分散性が良好であることを示しており、相容性向上に効果が認められた。

3.4 曲げ性能

図3.6に曲げ試験結果を示す。曲げ弾性率について見ると、DM1, DM2, DM3及びO-DM2とCONTはほぼ同等であり、湿式磨砕及びオゾンによる前処理による曲げ弾性率への影響は明確でない。プラスチックを機械的複合化させた木粉 (MA-AB, MA-AL) では曲げ弾性率は低く、一方、一部をアセチル化した木粉 (CT-A) のそれは高かった。曲げ強さにおいては、湿式磨砕における回転速度の影響が明確であり、回転速度が大きいほど高い値を示した。DM2とO-DM2を比較すると後者の方が曲げ強さがやや高く、オゾンによる前処理の効果が認められる。MA-ABとMA-ALでは、曲げ弾性率と同様に、曲げ強さはCONTよりも低かった。一方、CT-Aの曲げ強さはCONTよりも高く、アセチル化の有効性が認められた。静的曲げ仕事量については、全体的に曲げ強さと全く同様な傾向を示しているが、より明確な差を確認することができる。

これらの曲げ試験結果から、今回実施した木粉調製条件の中で有効なものとして、3000rpmでの湿式磨砕、オゾンによる前処理、アセチル化の3つが挙げられる。

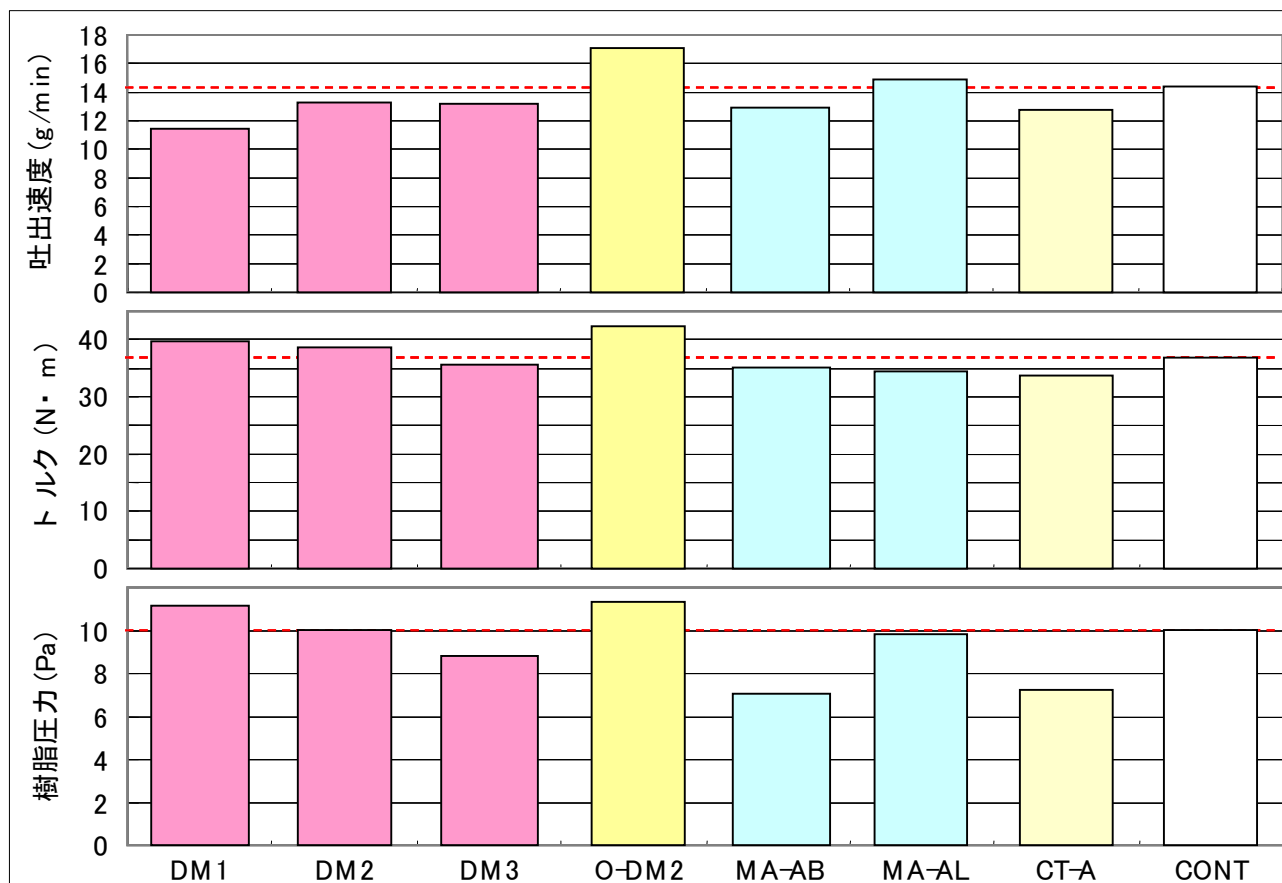


図 3.4 押出成形時の吐出速度，トルク，樹脂圧力
DM1, DM2, DM3, O-DM2, MA-AB, MA-AL, CT-A, CONT : 図 2.1 参照。

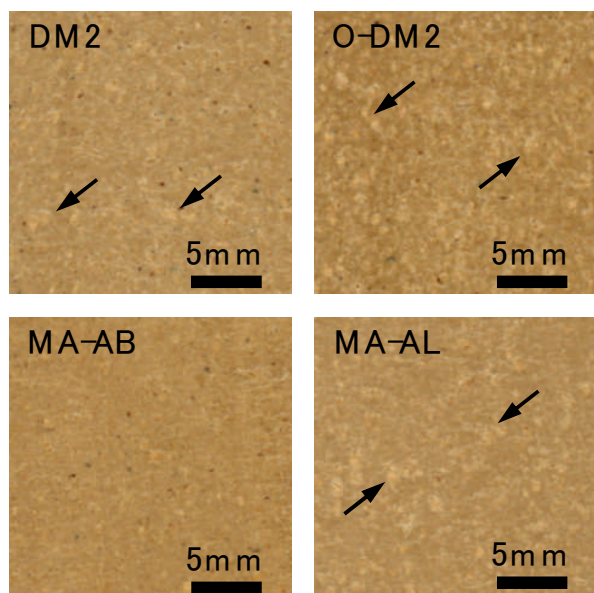


図 3.5 押出成形体の外観
DM2, O-DM2, MA-AB, MA-AL : 図 2.1 参照。

4. 結言

木材・プラスチック複合材の曲げ性能について、木粉の調製条件の影響を検討した。得られた知見は次のようにまとめられる。

- 1) 木材の湿式磨砕物はかさ高くなっており、微細化と同時に高アスペクト比化していると考えられた。
- 2) 変性ポリオレフィン樹脂水性分散体とともに湿式磨砕して機械的複合化を施した木粉の押出成形体は木粉の凝集が比較的軽微で、分散性が向上していることが確認された。
- 3) 曲げ試験結果から、本研究で取り上げた木粉調製条件の中では3000rpmでの湿式磨砕，オゾンによる前処理，アセチル化の3つが有効であった。

文献

- 1) 岡本忠：木材学会誌，49，pp. 401-407 (2003)
- 2) 伊藤弘和：材料，59，pp. 259-267 (2010)

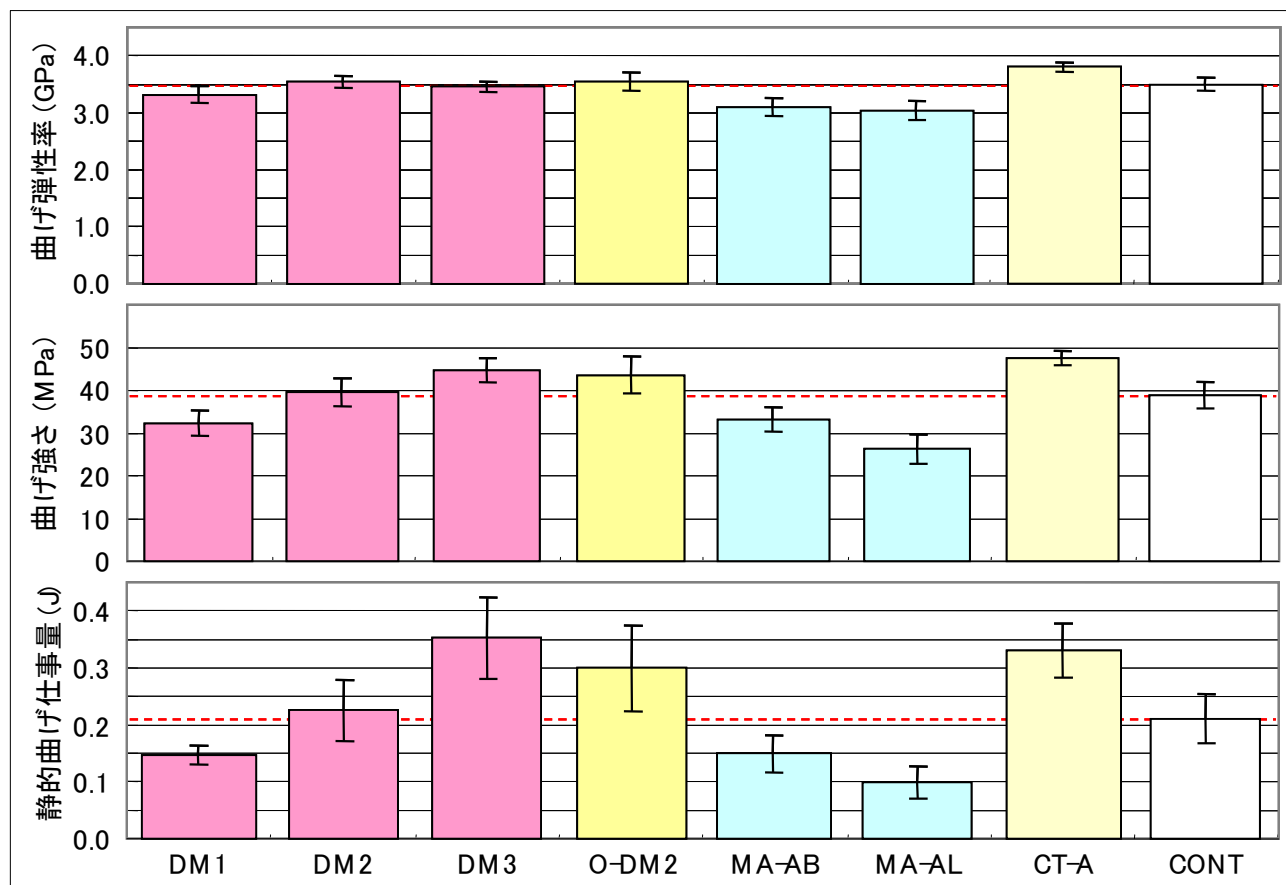


図 3.6 曲げ試験結果

DM1, DM2, DM3, O-DS2, MA-AB, MA-AL, CT-A, CONT : 図 2.1 参照。

木材・木質材料の高機能化に関する研究 混合無水物処理による耐候性向上

三井勝也^{*1}, Julien DUPUY^{*2}

Study on High Functionalization of Wood and Wood-based Materials
Improvement of weather resistance by mixed anhydride treatment.

Katsuya MITSUI^{*1}, Julien DUPUY^{*2}

天然物を積極的に用いた木材の耐候性向上を目指し、無水酢酸と数種の脂肪酸を用いた混合無水物処理を木材に適用し、その耐候性について検討した。化学処理による重量増加率は処理時間とともに増加したが、脂肪酸が長鎖になるにつれ、重量増加率は低下した。長鎖の脂肪酸は十分に細胞壁内へ拡散しなかったことから、置換度が低下したものと考えられた。繰り返し耐候試験により重量増加率は低下した。耐候性について、アセチル化と比較したところ、無水酢酸-カプリル酸処理、無水酢酸-カプリン酸処理、および無水酢酸-オレイン酸処理についてはアセチル化よりも高い耐候性を示したが、その他の処理については、アセチル化と同等の耐候性だった。また、最も耐候性向上に効果的な処理は無水酢酸-オレイン酸処理であると考えられた。

1. 緒言

木材の材色は、その利用上、重要な因子の一つである。しかし、利用の時間の経過とともに、その材色は変化していく¹⁾。屋内での利用の場合、油脂などの汚れに起因するものの他に、窓際などでは太陽光からの紫外線の影響により、変色することが多い²⁻⁴⁾。一方、屋外では紫外線のみならず、風雨による損傷も考慮する必要がある^{5,6)}。これらの変色を防止するために、様々な化学処理が試みられている。代表的なものとしてアセチル化が挙げられる。アセチル化は木材の寸法安定性を向上するだけでなく⁷⁻⁹⁾、耐光性も向上することが報告されている¹⁰⁻¹²⁾。

近年、アセチル化だけではなく、エステル化についての研究も行われている。無水カルボン酸を用いることによりエステル化を行うと、アセチル化同様に高寸法安定性が得られることが報告されている⁸⁾。また、天然物を積極的に導入する手法として、混合無水物処理が提案されている。混合

無水物処理とは、無水カルボン酸と脂肪酸の混合溶液中で木材の処理を行うと、二種類のエステル化が同時に反応するというものである。本処理法では、低置換度にもかかわらず、処理材の寸法安定性は向上し、撥水性も向上する。その一方で、吸放湿性もアセチル化木材に比べ優れている^{13, 14)}。しかし、本処理を施した木材の耐候性については検討されていない。そこで、本研究では無水酢酸と数種の脂肪酸を用い、混合無水物処理をし、その耐候性について検討した。

2. 実験方法

2.1 供試材料

本研究では、試験片の大きさが 50mm(L) × 10mm(T) × 1mm(R) のヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*) を用いた。混合無水物処理前に、ソックスレー抽出器を用いエタノール抽出を 16 時間行い、40℃で真空乾燥した。

2.2 混合無水物処理

混合無水物処理には、表1に示すように、無水酢酸と脂肪酸（カプリル酸(C₈)、カプリン酸(C₁₀)、ラウリン酸(C₁₂)、ミリスチン酸(C₁₄)、パルミチン酸(C₁₆)、ステアリン酸(C₁₈)あるいは、オレイン酸(C_{18:1})）の混合物（モル比1:1）を用いた（以下、

*1 試験研究部（木質材料研究室）

*2 Ecole Nationale Supérieure des Ingénieurs en Arts Chimiques Et Technologiques, Institut National Polytechnique de Toulouse, France

表 1 処理条件

脂肪酸の種類	処理名	モル比 (C2:Cn)	処理温度および時間
カプリル酸	C2-C8	1:1	120℃ 1～4 時間
カプリン酸	C2-C10		
ラウリン酸	C2-C12		
ミリスチン酸	C2-C14		
パルミチン酸	C2-C16		
ステアリン酸	C2-C18		
オレイン酸	C2-C18:1		

混合無水物処理を C₂-C_n 処理とする。)。混合溶液中で試験片を 120℃1～4 時間処理し、風乾した後、ソックスレー抽出器を用い、エタノール抽出を 16 時間行い、未反応の試薬を溶脱した。また、比較として無水酢酸のみによるアセチル化 (C₂-C₂ 処理) も行った。

2.3 材色測定

材色測定には色差計 SE-2000 (日本電色工業株式会社) を用い、材色表示は CIELAB 表色系に従った (図1)。測定直径は 6mm とし D₆₅ 光源、10 度視野を適用した。なお、明度指数 (L*)、クロマティックネス指数 (a* および b*) の差および色差は次式によって求められた。

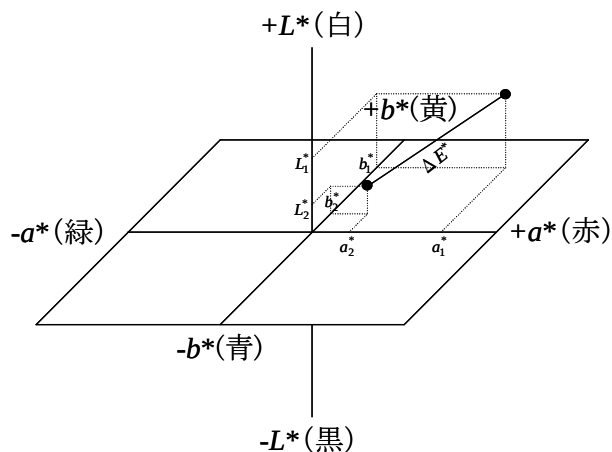


図1 色空間

$$\Delta L^* = L_t^* - L_s^*$$

$$\Delta a^* = a_t^* - a_s^*$$

$$\Delta b^* = b_t^* - b_s^*$$

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

ここで、 L_t^* 、 a_t^* および b_t^* は処理後の L^* 、 a^* および b^* であり、 L_s^* 、 a_s^* および b_s^* は処理前の L^* 、 a^* および b^* である。

2.4 耐候性試験

耐候性試験はスーパーキセノンウェザーメータ (SX-75: スガ試験機 (株)) を用い実施し、108 分間の照射および 12 分間の照射下での降雨を 1 サイクルとし、これを最大 100 サイクル行った。照射時の槽内の条件は、ブラックパネル温度 63℃、槽内湿度 50%RH とした。

3. 結果と考察

3.1 重量変化

図 2 に耐候試験後の重量変化を示す。耐候試験 0 サイクルが、化学処理後の重量増加率を示すが、化学処理時間が長くなるにつれ、重量増加率は大きくなり、脂肪酸の分子鎖が長くなるにつれ重量増加率は低下した。C12 以上の脂肪酸を用いた場合は、化学処理による重量増加率は処理時間にかかわらず、ほぼ同程度であった。長鎖になるにつれ重量増加率が低下するのは、長鎖分子は十分に細胞壁中に拡散しなかったことから、置換度が低下したものと考えられる。また、処理時間にかかわらず、重量増加率が同程度であったことから、おおむね 5% 程度で飽和すると考えられる。ステアリン酸 (C18) とオレイン酸 (C18:1) については、オレイン酸は不飽和結合を有するため、占有体積はステアリン酸よりも大きい、細胞壁中での立体障害がステアリン酸よりも小さいため、アセチル化度が C2-C18 処理よりも進行し、重量増加率が大きかったものと考えられる。

繰り返し耐候試験により重量増加率は低下した。Tolvaj ら¹⁵⁾ は、照射材を水抽出した結果、IR スペクトルにおいて、カルボニル基の減少を確認した。また、Mitsui ら¹⁶⁾ は照射材を熱処理する際に、IR スペクトル中のカルボニル基の減少は湿度に依存することを示した。これらの結果は、照射によって生成される成分には、低分子のカルボン酸が含まれていることを示している。本実験においても、C2-Cn 処理材は照射によって低分子カルボン酸を生成し、それらが照射後に引き続き行われる降雨処理によって表層から流出したのと考えられる。化学処理によって生成したアセチル化あるいはエステル化が照射によって劣化し、重量減少を引き起こしたのか、未反応部分が劣化したのかについては、今後の検討課題である。

3.2 耐候性評価

図 3 に化学処理後の WPG と繰り返し耐候試験後の ΔE^* の関係を示す。●は C2-C2 処理を、○は C2-C8 処理を、□は C2-C10 処理を、◇は C2-C12 処理を、△は C2-C14 処理を、▽は C2-C16 処理を、

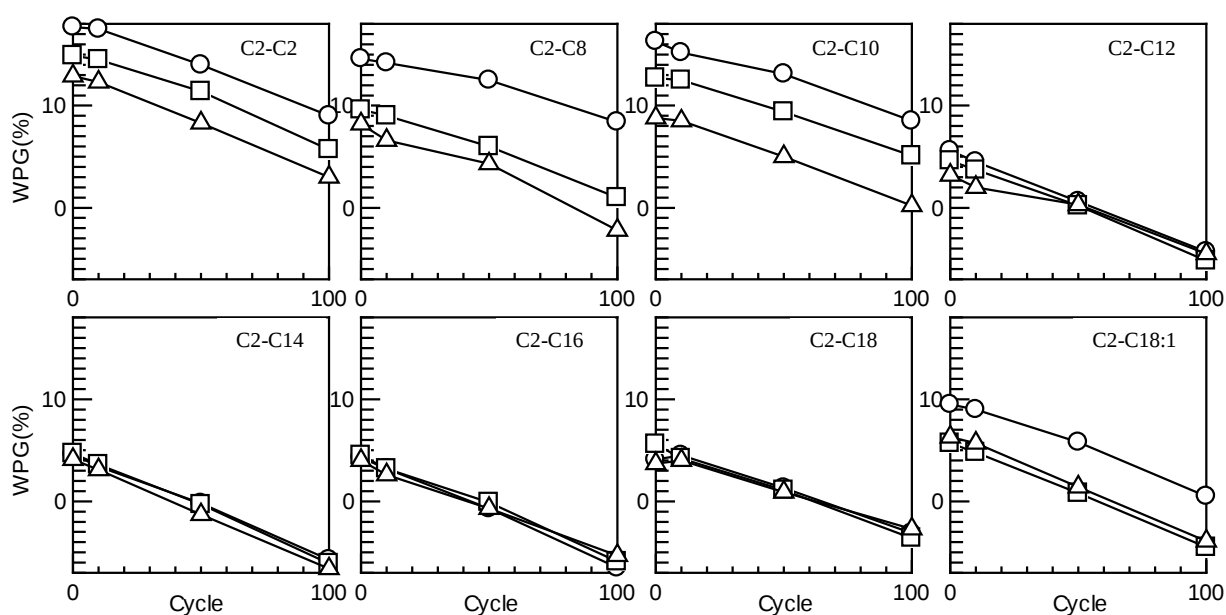


図 2 耐候試験後の重量変化
 $\triangle$: 1 時間処理、 $\square$: 2 時間処理、 $\circ$: 4 時間処理

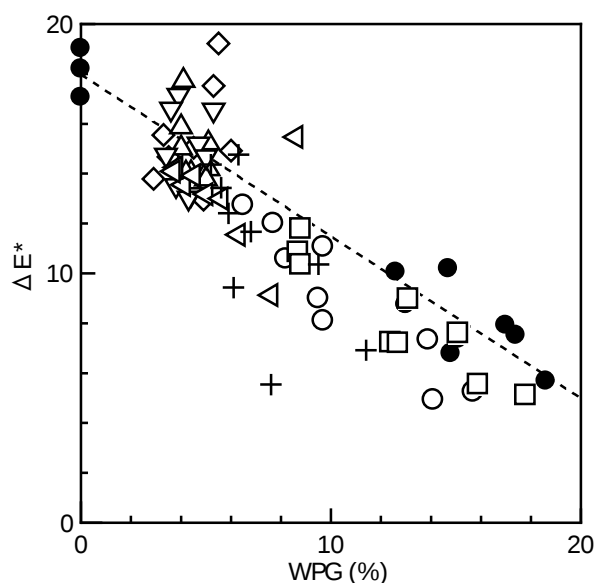


図 3 繰り返し耐候試験後の ΔE^* と化学処理後の重量増加率の関係

● : C2-C2 処理、○ : C2-C8 処理、□ : C2-C10 処理、◇ : C2-C12 処理、△ : C2-C14 処理、▽ : C2-C16 処理、▱ : C2-C18 処理、+ : C2-C18:1 処理
 破線は C2-C2 処理の回帰直線

▱ は C2-C18 処理を、+ は C2-C18:1 処理を示す。
 また、波線は C2-C2 処理の結果の回帰直線であり、この回帰直線を越える領域はアセチル化よりも耐

候性が低いことを、回帰直線以下の領域はアセチル化よりも耐候性の高いことを意味する。

C2-12 処理、C2-14 処理、C2-16 処理、および C2-18 処理は、ほぼ回帰直線上にのることから、これらの処理については、アセチル化とほぼ同等の耐候性であると考えられる。一方、C2-C8 処理、C2-C10 処理、および C2-C18:1 処理は、処理時間にかかわらず、そのほとんどの処理材がアセチル化木材よりも低い ΔE^* を示したことから、これらの処理はアセチル化木材よりも耐候性が高いといえる。さらに、C2-C18:1 処理については、低い重量増加率にもかかわらず、 ΔE^* の変化は小さかったことから、今回用いた脂肪酸の中で、耐候性向上には最も効果的であったと考えられる。

木材の光に対する劣化は、一般的には $75 \mu\text{m}$ 程度¹⁾といわれ、IR スペクトルの変化が観察されるのも、最大数 $100 \mu\text{m}$ 程度¹⁷⁾とされている。しかし、耐候試験では、降雨処理による分解した表層が繰り返し洗い流されるため、表層の劣化速度は、光劣化に比べ著しく速く、表層より深くまで浸食されることが容易に推測される。すなわち、高耐候性を目指すには、木材表面のみの処理ではなく、内部まで処理を進行させる必要がある。本研究では、化学処理が木材中のどこまで進行しているかは確認できていない。これについては、今後の重要な検討課題である。

4. まとめ

本研究では混合無水物処理による耐候性向上について検討した。化学処理による重量増加率は処理時間とともに増加したが、脂肪酸が長鎖になるにつれ、重量増加率は低下した。また、繰り返し耐候試験により重量増加率は低下した。耐候性について、アセチル化と比較したところ、無水酢酸-カプリル酸処理、無水酢酸-カプリン酸処理、および無水酢酸-オレイン酸処理についてはアセチル化よりも高い耐候性を示したが、その他の処理については、アセチル化と同等の耐候性だった。また、最も耐候性向上に効果的な処理は無水酢酸-オレイン酸処理であると考えられた。

文献

- 1) Hon D.N.S, Minemura N: “Wood and cellulosic chemistry. second edition, revised and expanded”, D.N.S. Hon, N. Shiraishi 編, Mercel Dekker, New York, 2001, pp. 385-442.
- 2) 辻本吉寛、今村祐嗣：木材学会誌 **52**, 145-152 (2006)
- 3) 辻本吉寛、今村祐嗣：木材学会誌 **53**, 141-148 (2007)
- 4) 辻本吉寛、今村祐嗣：木材学会誌 **55**, 45-50 (2009)
- 5) 矢田茂樹、田村健：木材学会誌 **41**, 1035-1042 (1995)
- 6) Sandberg D.: *Holzforschung* **53**, 355-364 (1999)
- 7) Popper R., Bariska M.: *Holz Roh Werkst* **33**, 415-419 (1975)
- 8) Hill C.A.S., Jones D.: *Holzforschung* **50**, 457-462 (1996)
- 9) Li J.Z., Furuno T., Katoh S., Uehara T.: *J Wood Sci* **46**, 215-221 (2000)
- 10) Ota M., Abe K., Sekiguchi T.: *Mokuzai Gakkaishi* **42**, 216-221 (1996)
- 11) Ota M., Ogata H., Jono Y., Hirota K., Abe K.: *Mokuzai Gakkaishi* **43**, 785-791 (1997)
- 12) Ohkoshi M.: *J Wood Sci* **48**, 394-401 (2002)
- 13) Peydecastaing J: 学位論文 “Chemical modification of wood by mixed anhydrides.” トウールーズ大学 (2008)
- 14) Peydecastaing J., Vaca-Garcia C., Borredon E., El Kasmi S.: *Cellulose* **16**, 289-297 (2009)
- 15) Tolvaj L., Faix O.: *Holzforschung* **49**, 397-404 (1995).
- 16) Mitsui K., Murata A., Tolvaj L.: *Holz Roh-Werkst* **62**, 164-168 (2004)
- 17) Kataoka Y., Kiguchi M.: *J Wood Sci* **47**, 325-327 (2001)

遮音・通気性能を有する木製ドアの開発（第2報）

木村公久^{*1}、長谷川良一^{*2}

Development of Wooden door having Sound insulation and Aeration properties (2)

Kimihiisa KIMURA^{*1}, Ryoichi HASEGAWA^{*2}

遮音・通気性能を有する木製ドアを開発するため、通気性能の確保に重点を置いた通気路形状や材料が異なる実験用の供試体を試作し、通気ならびに遮音性能評価を行った。

通気性能が最も良好な通気路形状は、コア材にスギを用いた「一の字」型であったが、いずれの形状においても総相当隙間面積が 50cm² 以上得られた。この結果より、実寸のドアサイズにおいて 100cm² 以上の通気性能が期待できる。遮音性能が最も良好な通気路形状は、コア材にグラスウールを用いた「への字」型であった。しかし、中心周波数 1.25kHz 以下において遮音等級 T-1 を下回る結果であった。

1. 緒言

近年、住宅に関する住生活者の質的な要求の多様化にともない、内装ドアおよび建材に対する要求性能は高まっている。内装ドアについては、隣室からの騒音問題やプライバシー保護等の関係により、住生活者からの遮音性能の向上に関するニーズが高いため、業界としても新たな製品の付加機能として遮音ドア（T-1等級¹⁾）の開発が求められている。換気経路となる内装ドアに求められている主な性能は、有効開口面積で100～150cm²の開口を有する通気性能²⁾と、通気性能を確保した上での遮音性能である。また、施工や蝶番部品への負担を軽減させ、製品の耐久性および安全性を向上させるためにも軽量化が求められている。これらの性能を兼ね揃えたドアは、トイレや寝室用として需要がある。

前年度は、3タイプの通気路形状によるドアの試作を行ったが、いずれも両性能の目標値を達成するにはいたらなかった³⁾。そこで、通気性能の確保に重点を置き、通気路形状やコア材が異なる実験用サンプルを試作し、性能評価測定を行った。

2. 実験方法

2.1 供試体

供試体の通気路形状の概略図を図1、仕様を表1に示す。供試体の大きさは、トイレ用ドア（外寸：

W693×H1,985×D36mm）の通気部分を上下半分にした大きさであるW607×H950×D36mmとした。前年度までの実験結果では、表面の通気孔総面積に対して実際の通気性能は半分以下（比率：40%前後）であり、半面で50cm²以上の通気性能を必要としているため、これを考慮して表面に6ヶ所の通気孔を設けて総面積を132cm²とした。また、通気孔面積に対して内部の通気路断面積が小さい、また通気路形状が複雑である等によっても通気性能の低下を確認したため、通気路断面積は通気孔面積よりも若干広くした。通気路形状については、障害が少なく一番通気性能が良好であると見込まれる「一の字」型をベースに、寸法的な制限もあるが角度を少し付けた場合の通気性能の変化ならびに遮音性能の違いを把握するため、4種類の実験用サンプルを試作した。図1の色塗部分がドア内部の通気路形状である。さらに、コア材を変えることにより、通気ならびに遮音性能にどのような影響があるかを把握するため、通気路を形成するコア材はスギとグラスウール（32kg/m³）の2種類を用いた。図1の

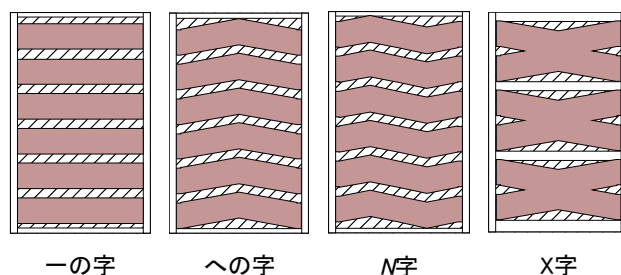


図1 供試体の通気路形状の概略図

*1 試験研究部（生活支援機能研究室）

*2 試験研究部（技術相談室）

表 1 供試体の仕様

供試体	通気路 形状	コア材	質量 (kg)
①	一の字	スギ	6.65
②	への字	スギ	6.67
③	N字	スギ	6.72
④	X字	スギ	6.96
①'	一の字	グラスウール	5.64
②'	への字	グラスウール	5.65
③'	N字	グラスウール	5.70
④'	X字	グラスウール, スギ	6.24

斜線部分がこの材料の異なる箇所である。なお、表面材は5.5mm厚のMDF、枠材はスギを用いた。図2に試作した供試体を示す。



図2 試作した供試体 (①)

2.2 通気性能評価

2.2.1 測定方法

測定は、気密性測定器（コーナール札幌株式会社製）を用いた。これは住宅用の気密性能を評価する装置であるが、音響特性評価装置（2.3.1 に説明）に供試体を設置して測定することにより、簡易的なドアの通気性能を評価した。この測定器は、供試体の表裏におよそ 10～50Pa の圧力差を生じさせ、5 点の圧力差とこの時の通気量から隙間の大きさである総相当隙間面積が算出される。供試体の片側にアクリル板製の囲いを設置し、この囲いに取り付けた気密性測定器により、囲い内へ風を送る加圧法で測定を行った。各供試体につき 5 回測定を行い、この平均値によって通気性能を評価した。

2.2.2 供試体の設置方法

供試体の設置状況を図3に示す。供試体を取り付けるための木枠を音響特性評価装置の隔壁に設置



開放側



加圧側

図3 供試体の設置状況

（通気性能評価測定）

し、この木枠に供試体を取り付けた。供試体の通気孔以外からの空気漏れを防ぐため、隙間はテープならびに油粘土を付けて塞いだ。

2.3 遮音性能評価

2.3.1 測定方法

測定は、音響特性評価装置（株式会社小野測器製）を用い、JIS A 1416⁴⁾に準じて、平成20年度地域イノベーション創出共同体形成事業で確立した測定方法⁵⁾によって行った。音響特性評価装置を図4に示す。音源室と受音室の2室の残響室で構成され、この隔壁に供試体を設置し、音源室に音を発生させた時の音源室と受音室の音圧レベルを測定することによって、供試体の遮音性能を表す音響透過損失が算出される。なお、本装置は試験室の容積が小さい（音源室：24.8m³，受音室：23.2m³）ことにより、低い周波数における音圧分布が安定しないという点から、1/3オクターブにおいては中心周波数100～315Hz未満の測定値は参考値となる。



音源室



受音室

図4 音響特性評価装置

2.3.2 供試体の設置方法

供試体の設置状況を図 5 に示す。通気性能評価測定と同様に供試体を設置し、供試体以外からの音の透過を防ぐため、隙間は油粘土を付けて塞いだ。また音源室側については、木枠部分にも油粘土を付けた。



音源室側

受音室側

図 5 供試体の設置状況
(遮音性能評価測定)

3. 結果

3.1 通気性能評価

通気性能結果を表2に示す。また表2には、供試体の表面に設けた通気孔総面積（132cm²）との比率を示す。

コア材にスギを用いた供試体は、最低値が④の55.2cm²に対して最高値は①の57.2cm²であり、その差は2.0cm²であった。また、コア材にグラスウールを用いた供試体は、最低値が④'の53.2cm²に対して最高値は①'の56.4cm²であり、その差は3.2cm²であった。コア材をグラスウールに変えることで、若干（0.8～2.0cm²）ではあるが通気性能の低下がみられた。

コア材の違いに関わらず、総相当隙間面積が一番高かった通気路形状は「一の字」型であり、逆に低かったのは「X字」型であった。また、「への字」型と「N字」型については、ほとんど変わらない結果となった。ただし、通気路形状の違いによる通気性能に極端な差はなく、いずれも50cm²以上の総相当隙間面積が得られた。

3.2 遮音性能評価

コア材にスギを用いた供試体の音響透過損失比較グラフを図6に示す。なおこの図は、1/3オクターブ測定値のみをJIS A 4702に換算した値により作成したグラフである。全体的な周波数特性は、中心周波数400Hzで18dB前後、500Hzから2.5kHzに

表2 通気性能結果

供試体	総相当隙間面積 (cm ²)						通気孔総面積との比率 (%)
	測定値					平均値	
①	57	56	58	58	57	57.2	43.3
②	56	55	56	57	57	56.2	42.6
③	55	56	58	57	56	56.4	42.7
④	55	55	54	55	57	55.2	41.8
①'	58	55	57	57	55	56.4	42.7
②'	55	55	54	55	55	54.8	41.5
③'	56	55	55	54	54	54.8	41.5
④'	53	54	52	54	53	53.2	40.3

かけてほぼ横ばいの13dB前後、3.15kHz以上で値が上昇していく特性であった。通気路形状の違いによる差が一番大きかったのは315Hzで、最低値が①の11.1dBに対して最高値は④の14.5dBであり、その差は3.4dBであった。また、全周波数帯域における差を比較すると、315Hzと630Hzを除いては2dB以内であり、通気路形状の違いによる大きな差はみられなかった。遮音等級としては、いずれもT-1等級を大きく下回る結果であった。

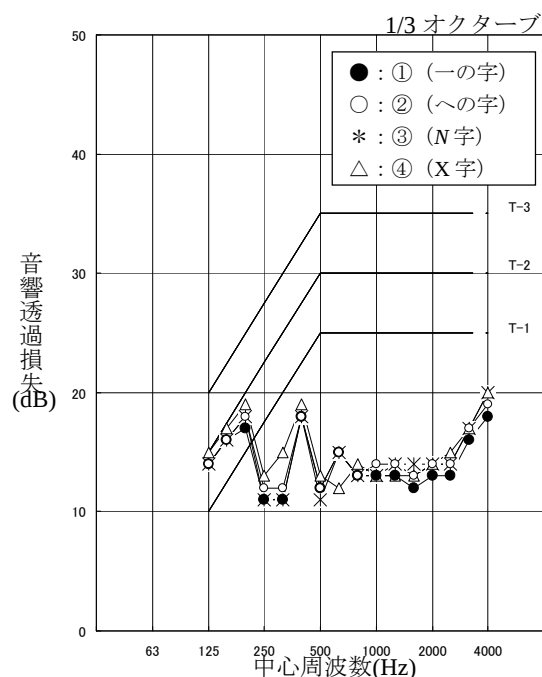


図6 音響透過損失の比較
(コア材：スギ)

コア材にグラスウールを用いた供試体の音響透過損失比較グラフを図7に示す。なおこの図も、1/3オクターブ測定値のみをJIS A 4702に換算した値により作成したグラフである。

全体的な周波数特性は、中心周波数 400Hz が最

低値の 14dB 前後、500Hz から 1.6kHz にかけて値が上昇し、それ以上の周波数では通気路形状によって変動がみられる特性であった。通気路形状の違いによる差が一番大きかったのは 2kHz で、最低値が④' の 26.2dB に対して最高値は②' の 32.0dB であり、その差は 5.8dB であった。また、全周波数帯域における差を比較すると、315Hz から 1.6kHz にかけては 2dB 以内であり、2kHz 以上では 2dB 以上の差がみられ、通気路形状の違いによる遮音性能の差は 2kHz 以上において顕著にみられた。

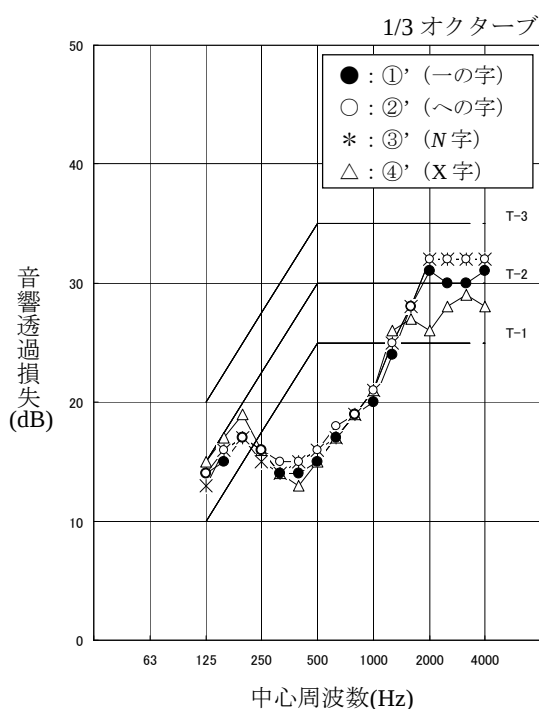


図7 音響透過損失の比較グラフ
(コア材：グラスウール)

コア材のスギとグラスウールの違いによる音響透過損失の差を表3に示す。なおこの値は、JIS A 1416による1/3オクターブ測定値から算出した値である。

中心周波数315Hzおよび400Hzでは、スギを用いた方が音響透過損失は高い通気路形状もみられたが、500Hz以上ではグラスウールを用いた方が2dB以上高い値であった。特に、1.25kHzから3.15kHzにかけては、いずれの通気路形状において10dB以上の大きな差が生じており、コア材の違いによる遮音性能の差が明確にみられた。

4. まとめ

試作した供試体の通気ならびに遮音性能結果は

表3 コア材の違いによる音響透過損失の差

中心周波数 (Hz)	音響透過損失差 (dB) (グラスウール型—スギ型)			
	一の字	への字	N字	X字
315	3.1	2.9	2.4	-0.2
400	-3.4	-3.1	-2.7	-5.4
500	3.9	4.0	4.6	2.0
630	2.3	3.2	2.5	4.9
800	5.7	6.7	6.2	4.6
1k	6.9	7.4	7.7	8.1
1.25K	10.7	10.7	10.6	13.1
1.6k	15.8	15.6	14.7	13.7
2k	18.4	18.3	17.6	12.3
2.5k	17.2	18.5	18.0	13.5
3.15k	14.1	15.7	14.6	12.3
4k	12.6	13.0	12.1	8.3
5k	8.7	8.5	7.2	5.6

以下のとおりである。

- 1) 通気性能が最も良好であった通気路形状は「一の字」型であり、コア材にグラスウールを用いることにより通気性能は若干低下した。
- 2) 遮音性能が最も良好であった通気路形状は「への字」型であり、コア材にグラスウールを用いることにより、高い周波数帯域において遮音性能は大幅に向上した。

通気性能については、コア材にグラスウールを用いることで、スギとの表面形状の違いによって通気性能が若干低下したと考えられる。しかし、試作したいずれの供試体においても、50cm²以上の総相当隙間面積が得られた。この結果、実寸のドアサイズにおいて、100cm²以上の総相当隙間面積の通気性能が期待できる。

遮音性能については、コア材にグラスウールを用いることで、グラスウールの吸音性能によって遮音性能が向上したと考えられる。しかし、目標としている遮音等級T-1に対して、1.25kHz以下における遮音性能が満たされていないため、これらの周波数帯域における遮音対策が今後の課題となった。

参考文献

- 1) JIS A 4702 : 2000, 「ドアセット」.
- 2) 換気マニュアル作成委員会 (事務局 (財) ベターリビング) : 住宅の換気設備マニュアル (H15. 5. 1版) , 2003.
- 3) 木村公久他 : 岐阜県生活技術研究所研究報告, No. 11, pp. 14-18, 2011. 遮音・通気性能を有する木製ドアの開発.

- 4) JIS A 1416 : 2000, 「実験室における建築部材の空気音遮断性能の測定方法」.
- 5) 木村公久他 : 岐阜県生活技術研究所研究報告, No. 10, pp. 57-60, 2010. 簡易残響室を用いた音響透過損失測定方法の確立.

木質住環境が人体に与える影響に関する研究(第1報)

木質空間における香気成分の影響

伊藤国億^{*1}, 足立隆浩^{*1}, 藤巻吾朗^{*2}

Study on influence that wood living environment gives human body (I) Influence of flavor component in woody living room

Kuniyasu Ito^{*1}, Takahiro Adachi^{*1}, Goroh Fujimaki^{*2}

室内空気中の α -ピネン濃度を3段階に調整した木質空間において、被験者に臭気の情報
を伏せ、各部屋の印象評価をSD法により行った。因子分析の結果、『爽快感』の因子と『香
りの良さ』の因子との間に相関関係が認められ、『爽快感』の因子は香りの影響の強い因子
であると考えられた。一方で『香りの良さ』の因子と『嗜好性』の因子に相関関係は認めら
れなかった。また、部屋を要因とする主効果が『嗜好性』の因子に認められ、 α -ピネン濃
度がより高い部屋が好まれたが、他の因子に主効果が認められなかった。香りが部屋の印象
に影響は与えるものの、今回の実験では視覚的影響が強かったと考えられた。

1. 緒言

近年、木質空間の居住性に関する研究¹⁻³⁾にお
いて、木質空間が人に与える心理的、生理的影響
が検証されており、空間を構成する木質内装ある
いは非木質内装の違いが人の快適感やストレスの
緩和に影響を及ぼすことが明らかになりつつある。
これらの研究では空間を構成する木材の香りや木
目模様、肌触りなど木材に固有な刺激が人に影響
を与えていることは明白であるが、影響を与える
木材固有の刺激は特定していない。

一方、個々の刺激でも多くの研究がされており、
木材の香りが人に与える影響も知られている。木
材の香り成分である α -ピネンを適度に吸入する
ことは、主観的にやや快適かつ自然であると感じ
られ、生理的に血圧の有意な低下が認められ、生
体にリラックス状態をもたらすことが分かっている⁴⁾。
また、木材の香りは室内の温熱環境によっ
てその放散量は変化し、かつ経年的には減少する
など他の刺激に比べ変動しやすい。このようなこ
とから、木質空間においても木材の香り刺激は人
に影響を与え、その影響度合いも変動するものと
考えられる。

そこで木材の香りの強さが木質空間の室内印象

にどのように影響するのか検証するため、室内に
 α -ピネンを人為的に拡散・調整し、室内印象評価
を実施することとした。

2. 実験方法

2.1 実居住空間実験室

実居住空間実験室((株)稲葉製作所製SMK-110H)
は、3040mm(W)×3620mm(L)×2440mm(H)であり、床
面積は約11m²である(写真)。室内の温度調節のた
め、インバータータイプのルームエアコン(ナシ
ョナル製CS-228TB)と換気扇(三菱電機製
EX-25LK)を設置した。また、湿度調節に加湿器(シ
ャープ製HV-U50CX)を使用した。

壁は全面にビニルクロスを施工し、そのクロス
の表面に高さ90cmの腰壁を設置した。腰壁材およ
び床材はヒノキ材(上小節)を使用した(写真)。
なお、本実験室の表面積における木材占有率は45%
とした。

なお、室内の α -ピネン量をコントロールするた
め、木材から放散される成分を塗装により被覆し
た。腰壁材及び床材は木部用ウレタン塗料(アク
レックス, 和信化学工業(株)社製)を用いて、
スプレー塗装を3回行い、14日間養生してから実験
室に施工した。施工後、塗料由来の揮発成分を建
材から早期に放散させるためベイクアウトを行っ
た。ベイクアウトは温度30±2℃, 湿度55±5%RH

^{*1} 試験研究部(木質材料研究室)

^{*2} 試験研究部(シミュレーション研究室)



写真 実居住空間実験室

条件下で1日9時間、14回実施した。実験時の室内温度は $22 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 、湿度は $50 \pm 5\% \text{RH}$ に調整した。

2.2 実験室内の α -ピネンの濃度調整

実験室内の空気質条件は α -ピネン濃度により決定した。結晶皿に α -ピネン（特級，和光純薬工業（株）社製）0.30ml を滴下後、蒸留水を 10ml 添加して α -ピネン溶液とした。この溶液にスターラーチップを入れスターラーで 30 分攪拌し、室内に α -ピネンを放散させた。なお、放散中は扇風機を使用し室内空気を攪拌した。放散後、所定時間毎に α -ピネン濃度を測定した。測定結果に基づき、被験者の入室のタイミングを調整し、室内の空気質条件を3通りとした。 α -ピネン濃度が高い条件（以下、A室とする）は放散終了直後とし、濃度が低い条件（以下、B室とする）は放散終了 5 時間後、 α -ピネンを放散させていない条件（以下、C室とする）は所定時間換気後とした。

なお、各室の α -ピネン濃度は被験者の入室前後に測定し、A室は $2100\text{--}3200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、B室は $200\text{--}800 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、C室は $20\text{--}40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。

2.3 室内空気質 (VOC) の測定

室内空気は、JIS A 1966 室内空気中の VOC 吸着捕集/加熱脱離/キャピラリーガスクロマトグラフ法によるサンプリング及び分析-ポンプサンプリングに準拠し、捕集管 TenaxTA (Supelco 社製, 6.3mm ϕ (O.D.) $\times$ 89mm (L)) を用いて、捕集ポンプにより流量 167ml/min で 2L 捕集した。分析は村田らの報告⁵⁾と同様にして加熱脱着-GC/MS 法により行った。

2.4 実験室の空気質調査

空気質調査は予め密閉状態で4時間養生した後、の室内空気で行った。ヒノキ内装材の施工後、

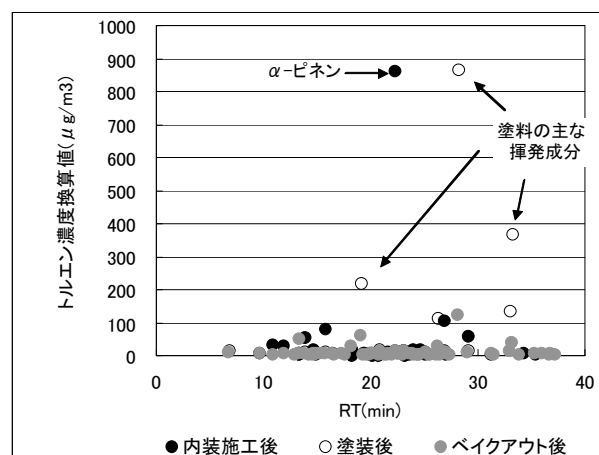


図1 各施工後の室内VOC濃度

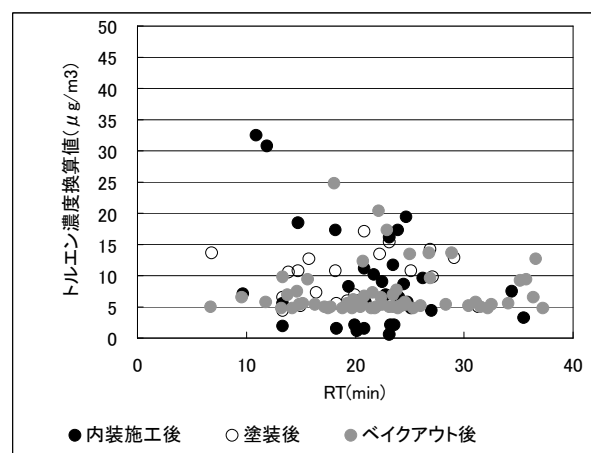


図2 室内VOCの低濃度における拡大図

塗装後およびベイクアウト後のそれぞれの室内空気質の VOC 濃度を図 1 及び図 2 に示した。 α -ピネンが 22.2min に検出された。内装施工後ではトルエン換算による α -ピネン濃度はおよそ $900 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であったが、塗装後およびベイクアウト後のその濃度は、 $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 前後であった。また、他に木質材料由来と考えられる香気成分として、23.5min に検出される β -ピネン、24.4min に検出されるリモネンは、 α -ピネンと同様に塗装後およびベイクアウト後は低下し、60%まで低減した。なお、 α -ピネンの閾値が 0.018ppm (およそ $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$) とする参考値⁶⁾から推察すれば、塗装およびベイクアウトによりヒノキ材の香気成分の放散を抑制し、木材固有の香りを閾値以下にすることができたと考えられた。一方、各施工後の VOC 成分の構成は大きく相違した。塗装後では塗料成分のピーク（主なピークは 5 つ）が検出されたが、ベイクアウト後には大幅に低下した。トルエン換算による総揮発性有機化合物 (TVOC) 濃度は、内装施工後で $1414 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、塗装後で $1902 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、ベイクアウト後で

717 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。これより室内空気質の基準となるC室において微かに臭気があることから、各室の印象評価への影響が懸念された。

2.5 主観評価

被験者は 20 歳代～40 歳代の 12 名(男性 8 名、女性 4 名)で行い、前室(温度 $21\pm1^\circ\text{C}$ 、湿度 $33\pm6\%\text{RH}$)に 10 分程度待機させた後、実験室に入室してもらった。1 名ずつ実験室へ入室し、室内の椅子に着座後、室内の印象をアンケートにより評価してもらった(図 3)。

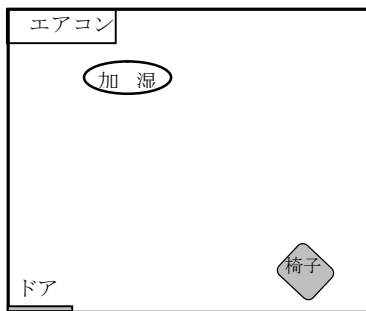


図 3 実験室内の上面図

実験後、臭気判定士の嗅覚検査に用いられるパネル選定用基準臭(5 基準臭、第一薬品産業(株)社製)を使用して、パネル選定試験を被験者全員に実施し、正解率によるパネル仕分けを行った。試験で選定基準濃度の 1 種類を 1 度不正解した被験者 4 名は評価から除くこととした。

2.6 アンケート調査

調査方法は心理評定や香り成分の官能評価によく用いられる S D 法 (semantic differential method) を採用した。形容詞対は 23 項目とし、評定尺度は 7 段階で回答してもらった(表 1)。

3. 結果と考察

アンケートの回答結果は被験者ごとに標準化し、個人の好みの影響の小さい「印象評価」(設問項目 1-14、17-19)と個人の好みを回答してもらう「嗜好評価」(設問項目 15-16、20-23)に分類し、それぞれについて因子分析を行った。「印象評価」については 6 因子が抽出され(累積寄与率 70.50%)、それぞれ『活動的なイメージ』『爽快感』『暖かさ』『明るさ』『柔らかさ』『自然なイメージ』を表すと考えられた(表 2)。また、「嗜好評価」については 2 因子が抽出され(累積寄与率 64.55%)、それぞれ『嗜好性』『香りの良さ』を表すと考えられた(表 3)。このことから、今回の実験では、

表 1 SD 法によるアンケート設問票

	非常に	かなり	やや	どちらでもない	やや	かなり	非常に	
1 明るい								暗い
2 暖かい								冷たい
3 開放的な								閉鎖的な
4 堅い								柔らかい
5 さわやかな								うっとおしい
6 人工的な								自然な
7 地味な								派手な
8 弱々しい								力強い
9 澄んだ								にごった
10 陰気な								陽気な
11 軽快な								重厚な
12 あっさりした								くどい
13 動的な								静的な
14 乾いた								潤いのある
15 悪い香りの								良い香りの
16 色合いの良い								色合いの悪い
17 親しみやすい								親みにくい
18 厳しい								やさしい
19 落ち着く								落ち着かない
20 良い								悪い
21 居心地のいい								居心地の悪い
22 快適な								快適でない
23 好き								嫌い

表 2 「印象評価」における因子負荷量

	第1因子	第2因子	第3因子	第4因子	第5因子	第6因子
	活動的	爽快感	暖かさ	明るさ	やわらかさ	自然な
派手な	0.82	0.06	-0.07	0.06	0.09	0.09
動的な	0.82	0.37	-0.03	-0.16	0.11	0.09
力強い	0.75	0.10	-0.12	-0.25	0.35	0.15
落ち着く	-0.85	0.21	0.25	0.00	0.07	-0.02
親しみやすい	-0.73	0.46	0.30	-0.02	-0.14	0.03
あっさりした	-0.68	0.12	-0.42	0.16	0.08	-0.09
陽気な	0.24	0.72	0.02	0.02	0.10	0.13
澄んだ	-0.06	0.67	-0.26	0.33	-0.14	0.18
暖かい	-0.24	0.05	0.89	0.10	0.32	-0.01
明るい	0.01	0.11	0.14	0.91	-0.19	0.13
柔らかい	0.23	0.07	0.03	-0.02	0.94	0.14
自然な	0.11	0.03	-0.12	0.05	0.11	0.63
潤いのある	0.36	-0.23	0.14	-0.02	0.30	0.20
開放的な	0.02	0.16	-0.59	-0.11	0.17	0.16
やさしい	-0.34	-0.01	0.39	0.57	0.34	0.00
軽快な	-0.13	0.46	-0.17	0.53	0.30	-0.25
さわやかな	-0.27	0.60	-0.02	0.00	0.03	-0.28
寄与率[%]	24.4	12.1	10.6	9.9	9.1	4.3
累積寄与率[%]	70.5					

表 3 「嗜好評価」における因子負荷量

	第1因子	第2因子
	嗜好性	香りの良さ
好き	0.97	0.15
居心地のいい	0.90	0.16
良い	0.78	0.34
快適な	0.76	0.34
良い香りの	0.35	0.61
色合いの良い	0.05	0.39
寄与率[%]	51.1	13.5
累積寄与率[%]	64.6	

主に「印象評価」の6因子により部屋全体の印象が決定され、それをもとに「嗜好評価」の2因子の好みを判断していると考えられた。

これらの因子について、有意水準5%で相関分析を行ったところ、『活動的なイメージ』と『嗜好性』($r=-0.64$)、『爽快感』と『嗜好性』($r=0.42$)、

『暖かさ』と『嗜好性』 ($r=0.44$)、『爽快感』と『香りの良さ』 ($r=0.56$) で相関関係が認められた。このことから、落ち着いたおとなしい印象と澄んで陽気な印象の部屋が好ましいと評価される傾向がみられた。『暖かさ』については前室との温度差はほぼないが前室よりも湿度が高いこと、実施時期が冬季であり前室と実験室間の回廊における温度が 15°C 前後であったことから、単に入室前後の温湿度差が影響を与えたと考えられる。また、『爽快感』と『香りの良さ』との間に相関関係がみられたことから、『爽快感』は香りの影響の強い因子であると考えられた。しかし、『香りの良さ』と『嗜好性』との間に相関関係は認められず、今回の実験では、『香りの良さ』と部屋の好み（『嗜好性』）は個別に評価されているものと考えられた。

抽出された各因子について部屋を要因とした一元配置の分散分析を行った結果、『嗜好性』の因子について主効果がみられ ($p<0.05$)、B室よりもA室を好む傾向がみられた (図4)。A室とB室は α -ピネン濃度のみが異なる部屋であり、他の因子で主効果が認められなかったことから、今回の実験では、香りが部屋の印象に与える影響は小さいが二次的に影響を与えていることが考えられた。すなわち、本実験室では嗅覚的影響はあるものの視覚的影響が強かったと考えられた。

C室は他の部屋との有意差がみられなかった。部屋間において、 α -ピネン放散量は大きく相違するものの、 α -ピネンを含むTVOCによる刺激量は対数に比例しない。このことからウェーバー・フェヒナーの法則に従うとすると、室内の残留成分による α -ピネンへのマスキング効果が影響し、評価に有意差がみられなかったとも考えられた。

また、A室においてはB室及びC室に比べて得点のバラツキが少ないことから、本実験程度の臭気強度であれば評価のバラツキが小さくなると考えられる。そこで、今後は個人の臭気判定（閾値や臭気強度における快・不快など）を分析し、被験者を仕分けすることや、各室の香気成分（相対量や濃度）が相違することを被験者に伝え、嗅覚意識を高めた状態で試験することで、より検証が可能と思われる。

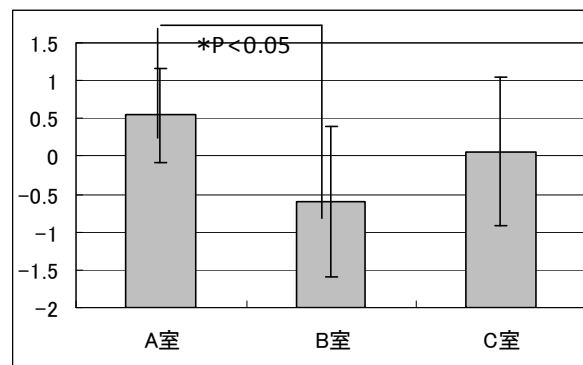


図4 各室における『嗜好性』の因子負荷得点

4. まとめ

- 1) 抽出された因子の相関分析において、『爽快感』は香りの影響の強い因子であると考えられた。また、『嗜好性』と『香りの良さ』は個別に評価されていると考えられた。
- 2) 部屋を要因とする主効果が『嗜好性』の因子に認められ、 α -ピネン濃度がより高い部屋が好まれた。
- 3) 本実験室では嗅覚的影響はあるものの視覚的影響が強かったと考えられた。

今後、個人の臭気判定を分析し被験者を仕分けすることや、各室の香気成分が異なることを被験者に伝え、嗅覚意識を高めた状態で試験する必要がある。

文献

- 1) 恒次祐子ら：(独) 森林総合研究所，研究の森，No. 107，2006.
- 2) 齋藤ゆみら：木材学会誌，Vol. 55，No. 2，pp. 101-107，2009.
- 3) 藤巻吾朗ら：岐阜県生活技術研究所研究報告，No. 11，pp. 44-47，2009.
- 4) 恒次祐子ら：木材工業，Vol. 60，No. 11，pp. 598-602，2005.
- 5) 村田明宏ら：岐阜県生活技術研究所研究報告，No. 7，pp. 42-44，2005.
- 6) 永田好男ら：日本環境衛生センター所報，No. 17，1990.