

避難所における快適環境を提供する高機能建材の開発 木質材料を用いた吸音建材の開発（第 1 報）

木村公久^{*}, 今西祐志^{*}, 長谷川良一^{*}

Development of high-performance building materials to provide a comfortable environment
in the shelter

Development of sound absorption building materials with wood material (I)

Kimihisa KIMURA^{*}, Hiroshi IMANISHI^{*}, Ryoichi HASEGAWA^{*}

木質材料を用いた吸音建材を開発するにあたり、岐阜県産桧間伐材から製造したストランド（木削片）及び各種桧ストランドボード、イグサから製造したイグサボードについて、様々な条件における吸音性能及び振動特性の評価を行った。

ボード単体としては、桧ストランドボード及びあなあき桧ストランドボードに良好な吸音性は見られなかったが、低密度桧ストランドボードには中高音域、イグサボードには高音域において、比較的に良好な吸音性が見られた。密度を調整することによるボードとしての展開に加え、吸音特性の異なるボードの組み合わせによる構造体としての展開の有効性が見られた。

1. 緒言

災害時に設置される避難所生活で感じる不愉快さとストレスについては、避難所の音環境に対して不満を抱くことと関係しているため、音環境を改善することによって一定程度軽減できる可能性があることが示されている¹⁾。またこの文献では、床に敷物を置いたことによる吸音効果により、体育館内の残響感が改善され、さらに歩行時の足音と振動が低減されたという報告がある。このように、避難所内の音問題を改善するには、遮音性に加えて適度な吸音性も必要であることから、遮音ならびに吸音材を適所に配置することにより、快適な音環境を創出することが重要であると考えられる。

そこで本研究は、災害によって設置される避難所等の音問題の改善を図ることを目的に、再生可能な有機性資源である木質材料を主材料とした吸音建材の開発を行う。本報では、株式会社エスウッドから提供された木質材料及び各種ボードについて、残響室法による吸音率測定による吸音性能、また振動特性を評価することによって吸音建材としての可能性を検討した。

2. 実験方法

2.1 供試体

2.1.1 桧ストランド

桧ストランドは、岐阜県産桧間伐材（皮むき材）を長さ180mm前後に玉切りし、これをディスクフレーカーに投入して切削したものである。ここでできたストランドの大きさは、おおむね25mm角、0.4mm厚であるが、幅、長さ及び厚みともに多少のばらつきが見られる。このストランドを乾燥機に投入し、含水率5%以下まで乾燥させたものを用いた。図1に、桧ストランドを示す。



図1 桧ストランド

^{*} 試験研究部

2.1.2 桧ストランドボード

桧ストランドボードは、ポリエチレングリコール系ハイブリッド接着剤を塗布した桧ストランドを均等に並べ、ホットプレスで熱圧成形し、表面をサンダーで研磨したものであり、ほとんど空隙がないボードである。寸法1,820mm×910mm×4mm厚、密度0.74g/cm³の桧ストランドボードを用いた。図2に、桧ストランドボードを示す。



図2 桧ストランドボード

2.1.3 あなあきストランドボード

あなあきストランドボードは、桧ストランドボードの長辺方向に72個、短辺方向に36個の計2,592個の貫通あなを、各25mmピッチで空けたものである。丸あなの直径が5mm、6mm及び8mmの3種類のあなあきストランドボードを用いた。図3に、直径5mmのあなあき桧ストランドボードを示す。



図3 あなあき桧ストランドボード

2.1.4 低密度桧ストランドボード

低密度桧ストランドボードは、市販の桧ストランドボードよりも密度を半分以下にして成形した試作ボードであり、空隙を有するボードである。

表1 低密度桧ストランドボードの仕様

	長さ (mm)	幅 (mm)	厚み (mm)	重量 (g)	密度 (g/cm ³)
No.1	1,815	935	11	4,378	0.23
No.2	1,815	935	10	5,481	0.32

表1に使用した低密度桧ストランドボードの仕様、図4に密度0.32g/cm³の低密度桧ストランドボードを示す。



図4 低密度桧ストランドボード

2.1.5 イグサボード

イグサボードは、熊本県産のイグサを約100mmの長さに切断し、ポリエチレングリコール系ハイブリッド接着剤を塗布したイグサをマット状に並べ、ホットプレスで熱圧成形し、裏面をサンダーで研磨したものであり、空隙を有するボードである。寸法1,820mm×910mm×6mm厚、密度0.20g/cm³及び0.33g/cm³の2種類のイグサボードを用いた。図5に、密度0.33g/cm³のイグサボードを示す。



図5 イグサボード

2.2 吸音性能評価測定

2.2.1 測定方法

音響特性評価装置（株式会社小野測器製）の音源室を用い、JIS A 1409²⁾に準ずる方法によって測定を行った。図6に試験室を示す。この試験室は容積が24.8m³の残響室であり、試験室内にはスピーカ3台、マイクロホン5本が設置されている。この装置を用いて各供試体の吸音率（1/3オクターブバンド）を測定した。ただし、試験室の容積が小さいことにより、低音域の音圧分布が安定しないという点から、100Hzから315Hz未満の測定値は参考値となる。また本装置による測定結果は、JIS規格を満たしている試験室における測定結果との整合

性を確認していないため、相対評価として各測定結果を比較した。



図 6 音響特性評価装置（音源室）

2.2.2 供試体の設置方法

2.2.2.1 桧ストランド

油粘土を用い、内寸が1,820mm×910mm、高さ10mm、20mm、30mm及び40mmの囲いを試験室の床に設けた。この囲いの中に、油粘土の高さと同じになるように桧ストランドを均一になるように敷き詰めた。表2に用いた桧ストランドの重量と密度、図7に高さ40mmの油粘土の囲いに桧ストランドを敷き詰めた状態を示す。

表2 桧ストランドの質量と密度

高さ(mm)	重量(g)	密度(g/cm ³)
10	1,191	0.072
20	1,946	0.059
30	2,701	0.054
40	3,456	0.052



図 7 桧ストランドの設置状態

2.2.2.2 桧ストランドボード

以下の5条件により供試体を設置した。表3に供試体の設置断面概略図、図8に床置きでの設置状態を示す。

①：床置き

試験室の床に供試体を置き、供試体の側面に幅約15mmの油粘土を供試体と同じ高さになるように取り付けた状態。

②：背後空気層25mm

供試体と床面との間隔が25mmとなるような木枠を試験室の床に置いた。この木枠の上に供試体を載せ、供試体の側面及び木枠に油粘土を供試体と同じ高さになるように取り付けた状態。

③：背後空気層25mm内にグラスウールを敷く

②の条件において、木枠の中に厚さ25mmのグラスウール（密度32kg/m³）を敷き詰めた状態。

④：背後空気層50mm

供試体と床面との間隔が50mmとなるような木枠を試験室の床に置き、②と同様に供試体及び油粘土を設置した状態。

⑤：背後空気層50mm内にグラスウールを敷く

④の条件において、木枠の中に厚さ25mmのグラスウール（密度32kg/m³）を敷き詰めた状態。

表3 設置断面概略図

①	
②	
③	
④	
⑤	

□ 供試体, ■ 油粘土, ▨ 木枠, ▩ グラスウール



図 8 桧ストランドボードの設置状態

2.2.2.3 あなあき桧ストランドボード

2.2.2.2桧ストランドボードの設置方法の①から⑤と同様に設置した。図9に、直径8mmのあなあき

桧ストランドボードの背後空気層50mmの設置状態を示す。

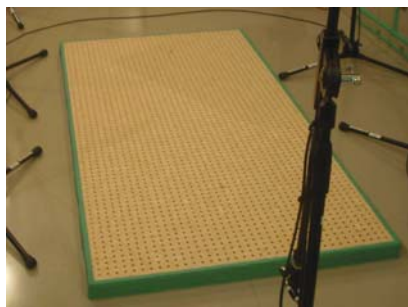


図 9 あなあき桧ストランドボードの設置状態

2.2.2.4 低密度桧ストランドボード

2.2.2.2桧ストランドボードの設置方法の①と同様に設置した。図10に、密度 0.23g/cm^3 の低密度桧ストランドボードの設置状態を示す。

また、密度 0.23g/cm^3 と密度 0.32g/cm^3 のボードを上下に重ね合わせて設置した状態、さらに各ボードを長辺方向に四分割し、 $1,820\text{mm}\times 910\text{mm}$ の面積に対して各ボードの設置枚数（面積比）を変えた状態においても測定を行った。



図 10 低密度桧ストランドボードの設置状態

2.2.2.5 イグサボード

2.2.2.2桧ストランドボードの設置方法の①から⑤と同様に設置した。図11に、密度 0.33g/cm^3 のイグサボードの背後空気層25mmの設置状態を示す。



図 11 イグサボードの設置状態

2.3 振動特性評価測定

2.3.1 測定方法

新たに導入した株式会社小野測器製の加速度検出器（NP-3211）及びFFT解析ソフトウェア（DS-0221VA）を用い、これらを音響特性評価装置の計測システムに接続して測定を行った。加速度検出器を供試体の中央部に取り付け、音源室内にランダムノイズを発生させた後、20秒間の平均化処理による1/3オクターブ解析を行った。

2.3.2 供試体の設置方法

桧ストランドボードを供試体として用い、2.2.2.2桧ストランドボードの設置方法①から③と同様に設置した。図12に、桧ストランドボード背後空気層25mmの設置状態を示す。



図 12 桧ストランドボードの設置状態

3. 結果と考察

3.1 吸音性能

3.1.1 桧ストランド

図13に、桧ストランドの吸音率測定結果を示す。高さ10mm及び20mmは、周波数の増加とともに吸音率が大きくなる吸音特性であった。また高さ30mm及び40mmは、周波数の増加とともに吸音率が大きくなり、ある周波数（ピーク）を超えると若干低下し、その後再び大きくなるという吸音特性であった。このピークの周波数は、30mmは2kHz、40mmは1.6kHzであった。厚みを増すごとに吸音領域が低周波数側に広がる吸音特性であり、全体的に多孔質材料の吸音特性に似た傾向が見られた。

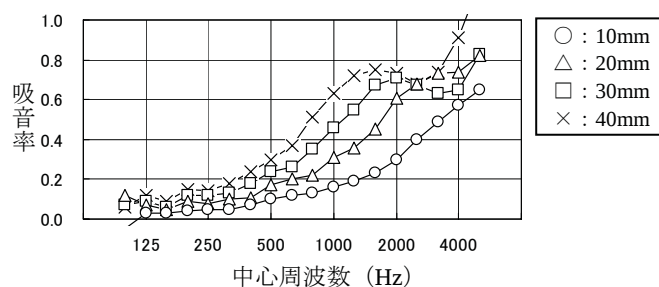


図 13 桧ストランドの吸音率測定結果

桧ストランドの厚みによって吸音領域を調整することは可能であるが、広い領域において吸音性を向上させるには、厚みをさらに増す必要がある。このため、桧ストランドのみを建材に適用するには、さらなる検討が必要である。

3.1.2 桧ストランドボード

図14に、桧ストランドボードの吸音率測定結果を示す。ボード単体では吸音性は見られないが、背後空気層25mmでは250Hz、背後空気層50mmでは160Hzをピークとする山形の吸音特性であった。また、背後空気層内にグラスウールを敷き詰めた状態では、上記の周波数付近における吸音率が大きくなっており、全体的に一般的なボードの吸音特性とほぼ同様の傾向が見られた。これらの結果より、桧ストランドボード単体には特に良好な吸音性は見られないが、吸音材と組み合わせることにより低音域の吸音性を高めることが可能である。

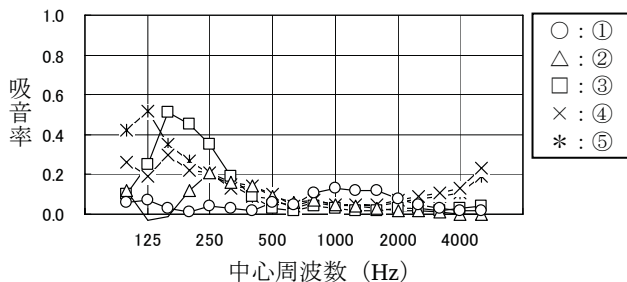


図 14 桧ストランドボードの吸音率測定結果

3.1.3 あなあきストランドボード

図15から図17に、各あなあき桧ストランドボードの吸音率測定結果を示す。桧ストランドボードと比較すると、ボード単体では2.5kHz付近から吸音率が大きくなっているが、特に良好な吸音性は見られなかった。背後空気層25mmではあなの直径5mmは1kHz、直径6mmは1.25kHz、直径8mmは1.6kHz、背後空気層50mmではあなの直径5mmは500Hz、直径6mmは630Hz及び800Hz、直径8mmは800Hzをピークとする比較的になだらかな山形の吸音特性であった。これらのピークの周波数は、あなあき板材料と背後空気層とによって構成される吸音構造の共鳴周波数の計算結果に近い値であった。また、背後空気層内にグラスウールを敷き詰めることで、500Hzまたは630Hzをピークとする高い吸音性が見られ、あなの直径を大きくするとともに吸音領域が広がる傾向が見られた。これらの結果より、あなあき桧ストランドボードは、吸音材との組合せによる展開が有効である。

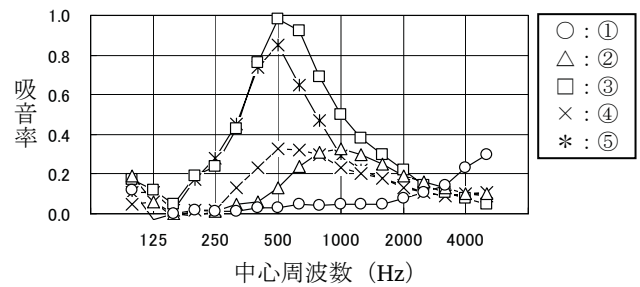


図 15 あなあき桧ストランドボード（直径 5mm）の吸音率測定結果

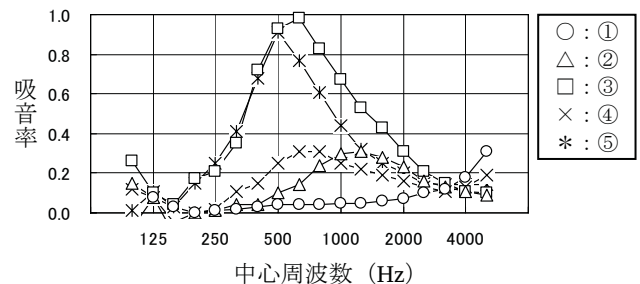


図 16 あなあき桧ストランドボード（直径 6mm）の吸音率測定結果

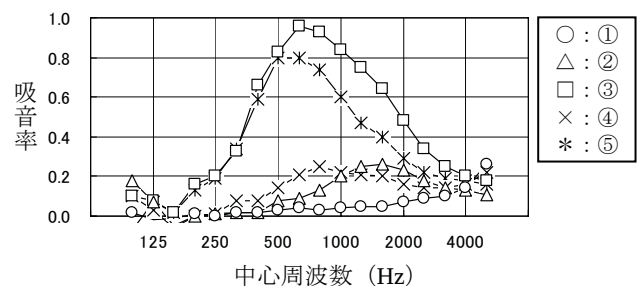


図 17 あなあき桧ストランドボード（直径 8mm）の吸音率測定結果

3.1.4 低密度桧ストランドボード

図18に、低密度桧ストランドボードの吸音率測定結果を示す。いずれも周波数の増加とともに吸音率が大きくなり、ある周波数を超えると低下し、その後再び大きくなるという吸音特性であった。このピークの周波数は、密度 0.23g/cm^3 であるNo.1は1.6kHz、密度 0.32g/cm^3 であるNo.2は800Hzであった。No.1は3.15kHzを除く1kHz以上において吸音率0.6以上、No.2は630Hz以上において吸音率0.4以上の良好な吸音性が見られた。これらの結果より、桧ストランドボードの密度によって吸音特性は変化するため、用途に応じて最適な密度条件を導き出すことが必要である。

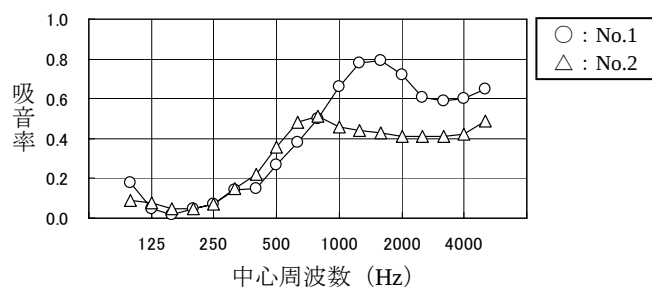


図 18 低密度絨ストランドボードの吸音率測定結果

図19に、低密度絨ストランドボードを重ね合わせた状態の吸音率測定結果を示す。図中の○印はNo.2のボードの上にNo.1のボードを載せた状態、△印はこの組合せを逆にした状態において測定を行った結果である。いずれの組み合わせにおいても、上面に配置した低密度絨ストランドボードの吸音特性に近い傾向の特性であり、低周波数側への吸音領域の広がりも見られた。特に○印の方は、500Hz以上において吸音率0.6以上という良好な吸音性が見られた。

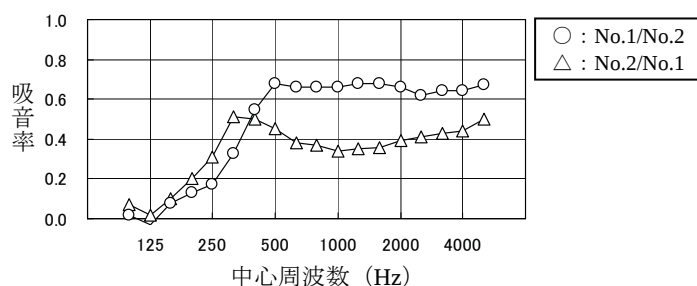


図 19 低密度絨ストランドボードを重ね合わせた状態の吸音率測定結果

図20に、各低密度絨ストランドボードの配置枚数を変えた状態の吸音率測定結果を示す。図中の△印は四分割したNo.1のボードを3枚、四分割したNo.2のボードを1枚配置した状態、□印はそれぞれ2枚ずつ配置した状態において測定を行った結果である。なお同じ配置比率において、ボードの配置箇所の違いによる吸音特性の大きな差は見られなかった。各状態における吸音特性は、各ボード単体の吸音特性に対してほぼ比率に応じた特性であり、配置比率を変えることにより、吸音特性を調整することが可能である。

これらの結果より、吸音特性が異なるボードを用い、その重ね合わせ及び配置比率を変えることによって、全体の吸音特性を調整することが可能であり、かつ有効である。

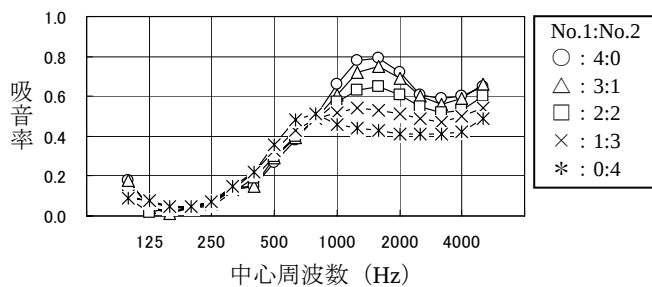


図 20 各低密度絨ストランドボードの配置枚数を変えた状態の吸音率測定結果

3.1.5 イグサボード

図21及び図22に、各イグサボードの吸音率測定結果を示す。ボード単体では、いずれも2kHz付近から吸音率が大きくなる吸音特性であり、密度0.33g/cm³のイグサボードには高音域において良好な吸音性が見られた。背後空気層を設けた場合は、周波数の増加とともに吸音率が大きくなり、ある周波数を超えると低下し、その後再び大きくなるという吸音特性の傾向が見られた。このピークの周波数は、背後空気層25mmでは密度0.20g/cm³は2kHz、密度0.33g/cm³は1.25及び1.6kHz、背後空気層50mmでは密度0.20g/cm³は1.25及び1.6kHz、密度0.33g/cm³は1kHzであった。また、背後空気層内にグラスウールを敷き詰めることで、密度0.20g/cm³は800Hzまたは1kHz、密度0.33g/cm³は630Hzをピークとする高い吸音性が見られた。吸音特性は、ポ

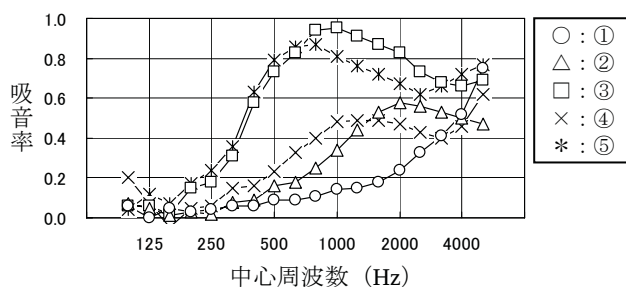


図 21 イグサボード（密度 0.20g/cm³）の吸音率測定結果

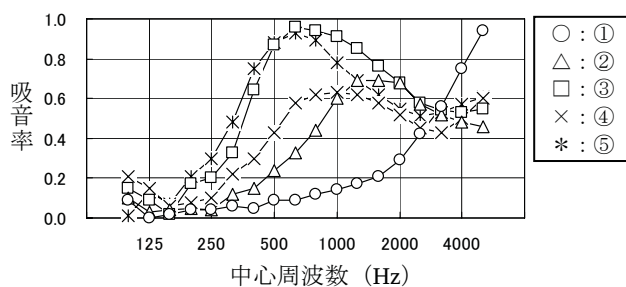


図 22 イグサボード（密度 0.33g/cm³）の吸音率測定結果

ード単体では密度 0.33g/cm^3 の方が良好であるが、吸音材と組み合わせた場合は空隙の多い 0.20g/cm^3 の方が良好であった。これらの結果より、イグサボードは、ボード単体としての展開に加え、吸音材との組合せによる展開も有効である。

3.2 振動特性

図23に桧ストランドボードの1/3オクターブ解析結果を示す。床置きと背後空気層25mmを比較すると、背後空気層25mmの方が100Hzから1kHzの中低音域において $10\text{dBm/s}^2\text{r}$ 以上大きく、このうちの160Hzから630Hzにおいては $20\text{dBm/s}^2\text{r}$ 以上の差が見られ、この差の最大値は250Hzの $31.66\text{dBm/s}^2\text{r}$ であった。この周波数は、吸音率測定結果の吸音率が最大である周波数と一致していることから、ボードの振動による吸音効果が現れていると考えられる。

また、背後空気層25mm内のグラスウールの有無を比較すると、グラスウールを敷き詰めた方が200Hzを除く1kHz以下の周波数において、3dBから10dB程の低下が見られた。これは、ボードとグラスウールが擦れることによって、ボードの振動が小さくなっていると考えられる。

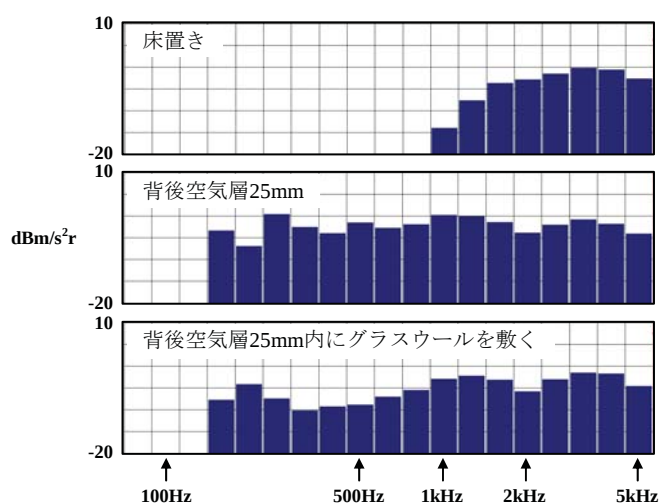


図 23 桧ストランドボードの 1/3 オクターブ解析結果

4. まとめ

今回の実験結果より、以下の知見が得られた。

- ・桧ストランドは、厚みを増すごとに吸音率が大きくなる吸音特性であり、多孔質材料の吸音特性に似た傾向が見られた。しかし、広い領域において吸音性を向上させるには、厚みをさらに増す必要がある。
- ・桧ストランドボードは、ボード単体ならびに背

後空気層との組み合わせにおいて、特に良好な吸音性は見られなかった。しかし、吸音材と組み合わせることにより、低音域において吸音性の向上が見られた。

- ・あなあき桧ストランドボードは、ボード単体ならびに背後空気層との組み合わせにおいて、特に良好な吸音性は見られなかった。しかし、吸音材と組み合わせることにより、開孔率の大きいボードほど広い領域において良好な吸音性が見られた。
- ・密度 0.23g/cm^3 の低密度桧ストランドボードは、3.15kHzを除く1kHz以上において、吸音率が0.6を超える良好な吸音性が見られた。
- ・イグサボードは、2kHz付近から吸音率が大きくなる吸音特性であり、ボードとしても高音域において良好な吸音性が見られた。また、吸音材と組み合わせることにより、広い領域において良好な吸音性が見られた。

本研究で用いた低密度桧ストランドボードは試作品であるため、強度等にまだ不十分な点が見られる。そのため、今後は密度などの成形条件を検討する必要があるが、現状の低密度ストランドボードについては、吸音建材のコア材などとして利用することは可能であると考えられる。

謝辞

本研究の実施にあたり、材料及びボード等を提供いただいた、株式会社エスウッドの角田惇氏、長田剛和氏に感謝の意を表する。

本研究の一部は、公益財団法人遠藤斉治朗記念科学技術振興財団の研究助成金により実施した。ここに感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 永幡幸司, 建築音響研究会資料 AA2011-40
- 2) JIS A 1409, 残響室法吸音率の測定方法, 1998
- 3) JIS A 6301, 吸音材料, 2007

未利用バイオマスの資源有効利用 (第3報) 木材・プラスチック複合材の曲げ性能に及ぼす ディスクミルによる木粉調製条件の影響

今西祐志*, 中島梓*

Effective Utilization of Wood Biomass as Material Resource (III) Influence of the wood flour preparation condition by a disk mill on bending properties of wood/plastic composite

Hiroshi IMANISHI*, Azusa NAKASHIMA*

ディスクミルを用いて調製した繊維状木粉を原料として木材・プラスチック複合材の押出成形を実施し、磨砕条件（砥石のクリアランス設定、砥石の選択）が押出成形及び曲げ性能に与える影響について検討した。砥石のクリアランスが大きいほど押出成形が困難になる一方で、曲げ弾性率及び曲げ強さは大きくなる傾向が認められた。また、表面が比較的滑らかな砥石で調製した木粉の方が押出成形は困難であったが、曲げ性能は高い値を示した。

1. 緒言

現在、混練型WPCは主にエクステリアでの建築資材用途で利用が拡大しており、特にウッドデッキ市場に関しては約8割が混練型WPC製となっている¹⁾。森林資源の有効利用、地球温暖化対策などの観点からさらなる利用拡大が期待されている混練型WPCであるが、そのためには自動車や家電製品の部品のような新たな市場への展開を推し進める必要があり、強度など様々な物性の向上が求められている。

混練型WPCの強度物性向上については、原料である木粉をディスクミルで調製することによって、木材繊維による補強効果をさらに高めることができる^{2, 3)}。しかしながら、ディスクミルによる磨砕条件が補強効果に及ぼす影響については十分な検討がなされていない。

本研究では、ディスクミルを用いた原料木粉の調製について、湿式磨砕におけるクリアランスの設定や砥石の選択が混練型WPCの押出成形挙動や曲げ性能に及ぼす影響を検討した。

2. 実験方法

2.1 木粉の調製

スギ (*Cryptomeria japonica*) の気乾材 (含水率約12%) 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, BO-210) で粉砕して一次粉砕物を作製した。これを5wt%の水懸濁液として、ディスクミル (増幸産業 (株), MKCA6-2) により湿式磨砕を行った。クリアランスは100, 300, 500, 700μmとした。砥石は微粉砕用 (増幸産業 (株), MKE6-46, 砥石Eと称す) と超微粉砕用 (増幸産業 (株), MKGA6-80, 砥石GAと称す) の2種類を使用した。砥石Eは炭化ケイ素質を主体とする砥石で、表面は比較的粗い。砥石GAはアルミナ質が主体の焼成砥石で、表面は比較的滑らかである。ディスク回転速度は1800rpmとして繊維状木粉を得た⁴⁾。

2.2 押出成形

木粉割合が60, 70, 80wt%となるようプラスチックおよび相容化剤と混合した。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, MFR=2.5g/10min) 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は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。混合物を180℃で押出成形して、断面寸法が幅25×厚さ2mmの板材を作製した。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

* 試験研究部

出装置, 2D25S) を使用した。スクリー回転速度は15rpmとした。

2.3 曲げ試験

試験は中央集中負荷により行った。支点間距離は60mmで、試験速度は3mm/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。試験体寸法は幅20×厚さ2×長さ75mmで、試験体数は各条件で6体である。

3. 結果と考察

3.1 押出成形時の挙動

図1に、押出成形時の比エネルギーに及ぼす砥石のクリアランスの影響を示す。比エネルギーは、原料に対し押出機で行った仕事を単位押出質量当たりで表した値である。全体的な傾向として、磨砕時のクリアランスが大きいほど、また、木粉割合が大きいほど、押出成形に要するエネルギーは大きくなっている。とくに、クリアランスが300～500 μm のあたりで比エネルギーの変動が大きい。砥石の影響については、比較的表面が滑らかな砥石GAで調製した木粉の方が比エネルギーは大きい。これは、砥石GAでの磨砕では比較的繊維が切れにくく、また、フィブリル化が進んだことにより、より大きいエネルギーを混練に要したものと推察される。

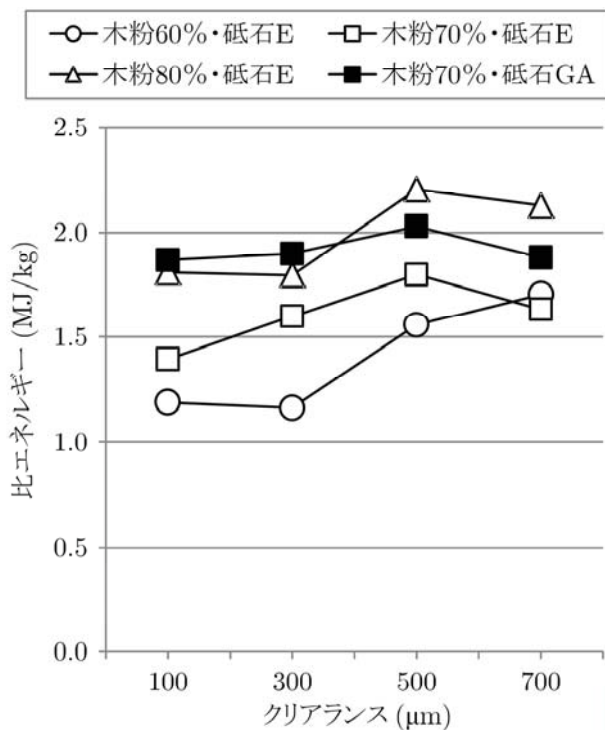


図1 押出成形時の比エネルギーに及ぼす砥石のクリアランスの影響

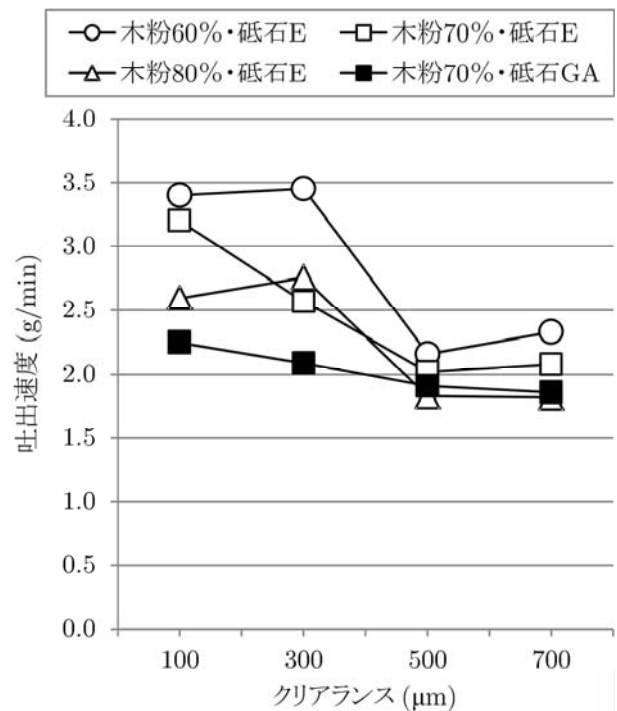


図2 押出成形時の吐出速度に及ぼす砥石のクリアランスの影響

図2に、押出成形時の吐出速度に及ぼす砥石のクリアランスの影響を示す。全体的には、磨砕時のクリアランスが大きいほど、また、木粉割合が大きいほど、吐出速度は低下する傾向が見られる。特に、クリアランスが300 μm を超えるあたりでの速度低下が大きい。砥石の選択の影響については、砥石GAにより調製した木粉を用いた方が吐出速度は小さくなっており、その差はクリアランス100 μm において最大であった。

3.2 曲げ特性

図3に、押出成形体の曲げ弾性率を示す。砥石Eにより調製した木粉を用いた場合について見ると、いずれのクリアランスにおいても木粉割合が大きいほど曲げ弾性率は大きい。また、砥石のクリアランスが大きいほど曲げ弾性率は大きくなる傾向が認められるが、それとともに標準偏差が増大しており、物性のばらつきが大きくなっている。砥石の選択の影響については、砥石GAにより調製した木粉を用いた方がやや大きい値を示している。

図4に、押出成形体の曲げ強さを示す。木粉割合と曲げ強さの関係は、曲げ弾性率とは逆の傾向を示しており、いずれのクリアランスにおいても木

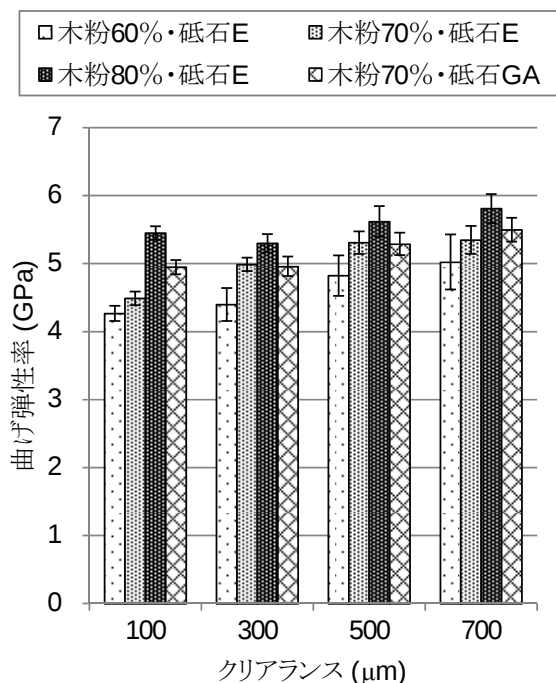


図3 押出成形体の曲げ弾性率

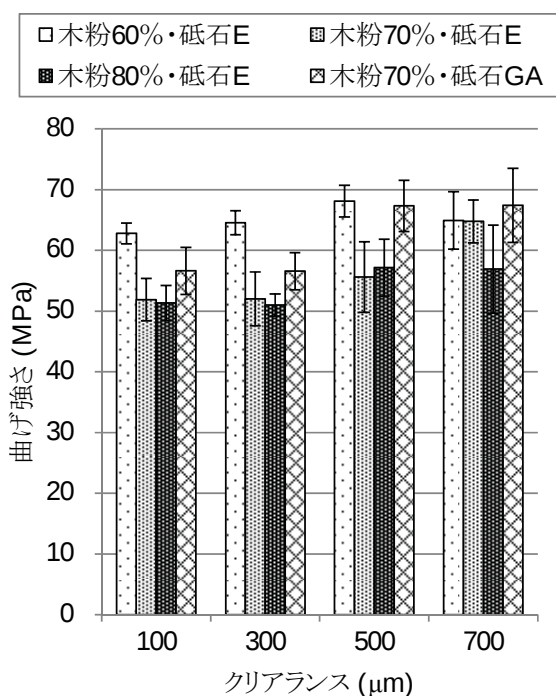


図4 押出成形体の曲げ強さ

粉割合が小さい方が曲げ強さは大きい。砥石のクリアランスが大きいほど曲げ強さ及びその標準偏差が大きくなる傾向は、曲げ弾性率と同様である。砥石の選択の影響については、砥石GAにより調製

した木粉を用いた方が大きい値を示しており、クリアランス700μmにおいては木粉割合60%の成形体の値を上回っている。

今回の検討の中では、砥石のクリアランスが大きいほど曲げ弾性率及び曲げ強さが大きくなる一方で、押出成形は困難になる（比エネルギーは増大、吐出速度は低下）傾向にあることが明らかとなった。砥石の選択の影響については、表面が比較的滑らかな砥石で調製した木粉を用いた方が高い強度値が得られたが、押出成形は困難になる傾向が認められた。

4. 結言

ディスクミルを用いた湿式磨砕により繊維状木粉を調製し、これを原料として木材・プラスチック複合材の押出成形を実施した。湿式磨砕におけるクリアランス設定及び砥石の選択が押出成形時の挙動、曲げ特性に及ぼす影響について検討した。得られた知見は次のようにまとめられる。

- 1) 砥石のクリアランスが大きいほど押出成形時の比エネルギーは増大、吐出速度は低下し、押出成形が困難になる傾向が認められた。砥石の選択の影響については、表面が比較的滑らかな砥石で調製した場合の方が押出成形は困難であった。
- 2) 砥石のクリアランスが大きいほど曲げ弾性率及び曲げ強さは大きくなる傾向が認められた。砥石は、表面が比較的滑らかな砥石で調製した場合の方が高い物性値を示した。

参考文献

- 1) 週刊エクステリア, 1261号, 2010年9月28日.
- 2) R. Kumari, H. Ito, M. Takatani, M. Uchiyama, T. Okamoto, J. Wood Sci., 53, 470 (2007).
- 3) 伊藤 弘和, 服部 英広, 岡本 忠, 遠藤 貴士, 李 承桓, 藤 正督, 寺本 好邦, 吾郷万里子, 今西 祐志, 高谷 政広, 繊維学会誌, 67(1), 1-7 (2010).
- 4) 今西祐志, 足立隆浩, 岐阜県生活技術研究所研究報告, No. 12, 22-26 (2011).

県産材を利用した圧縮木材の退色防止に関する技術開発（第 1 報） フェノール化合物と加熱処理木材の変色

三井勝也*, 伊藤国億*

Research and Development on the Prevention of Photodegradation in Compressed Wood (I) Color changes in phenol compounds and thermally treated wood

Katsuya MITSUI*, Kuniyasu ITO*

圧縮木材などの加熱処理木材は光退色が大きいことが指摘されているため、簡易な退色防止方法を検討する必要がある。そこで、塗料にフェノール化合物を添加することにより、フェノール化合物の変色を利用し、退色防止を図ることを目的とし、今年度は、フェノール化合物 8 種と加熱処理木材の光変色について検討した。

その結果、すべてのフェノール化合物において、光照射にともない明度指数(L*)の低下、およびクロマティックネス指数(a*およびb*)の上昇が見られた。種類によりクロマティックネス指数の上昇の程度は異なった。加熱処理木材において、熱処理条件によって、材色変化の傾向が異なった。処理条件が緩和な場合、光照射により黄変にともなうL*の低下が見られるが、処理条件が厳しい場合、光照射による退色が引き起こされた。フェノール化合物の着色を用いることにより、加熱処理材の退色速度を緩和することが可能であると推測された。

1. 緒言

木材の加熱処理に関する研究は古くから行われており、その材質変化に関する報告は非常に多い¹⁻³⁾。例えば、処理温度が高くなるにつれ、また、処理時間が長くなるにつれ、寸法安定性が向上することが知られている。

近年、木材の利用拡大を目的として、加熱処理を用いた処理方法の開発が盛んである。例えば、各種圧縮木材¹⁾やサーモウッド²⁾などが有名である。しかし、加熱工程がある木材処理は、木材が濃色化する。この濃色化現象を水と熱のみによる着色方法として利点ととらえることが可能ではあるが、加熱により濃色化した木材は、光によって退色することが知られている³⁾。加熱処理を施した木材の利用拡大を図るには、処理木材の耐光性を向上させる必要がある。

低分子フェノール化合物は、光照射により黄変する。低分子フェノール化合物を加熱処理木材表面に塗布することにより、フェノール化合物自身の着色により、加熱処理木材の退色を見かけ上、抑えることができると考えられる。通常、木製品

は表面保護のために塗装を施す。そこで、塗料に低分子フェノール化合物を添加することにより、加熱処理木材のための簡易な退色防止技術を検討することを目的とした。

今年度は、数種のフェノール化合物と加熱処理木材の光変色について検討した。

2. 実験方法

2.1 フェノール化合物

フェノール化合物の選定には、1)安価であること、2)安全であること、3)取扱いが容易であることが求められる。そこで、比較的入手しやすい次のフェノール化合物 8 種（バニリン(VA)、3,4-ジメトキシベンズアルデヒド(DMBA)、*p*-ヒドロキシフェニル酢酸(HPA)、カテコール(CAT)、イソオイゲノール(IE)、ヒドロキノン(HQ)、レゾルシン(RES)、および2-メチルヒドロキノン(MHQ))を選定した。これらをエタノールで1wt%、2wt%、4wt%に希釈し、セルロースろ紙に添着し、光照射に供した。

2.2 加熱処理木材

水蒸気処理装置（SBK-600：（株）ヤスジマ製）

* 試験研究部

を用い、スギ心材を140から180℃で、1から4時間処理した。

2.3 光照射および測色

フェノール化合物を添着したろ紙、および、加熱処理木材をスーパーキセノンウェザーメータ（SX-75：スガ試験機（株）製）で50時間光照射した。ブラックパネル温度63℃、放射照度180W/m²とした。

測色は色差計（SE-2000：日本電色工業（株）製）で行った。測定直径10mm、D65光源とし、Lab表色系(図1)を適用した。

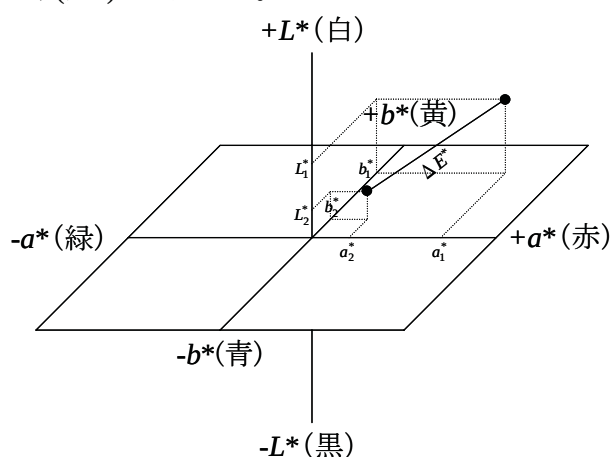


図1. Lab表色系

3. 結果と考察

3.1 フェノール化合物の光変色

図2に2wt%バニリン、2wt%レゾルシン、および2wt%カテコールの光照射による色変化を示す。8

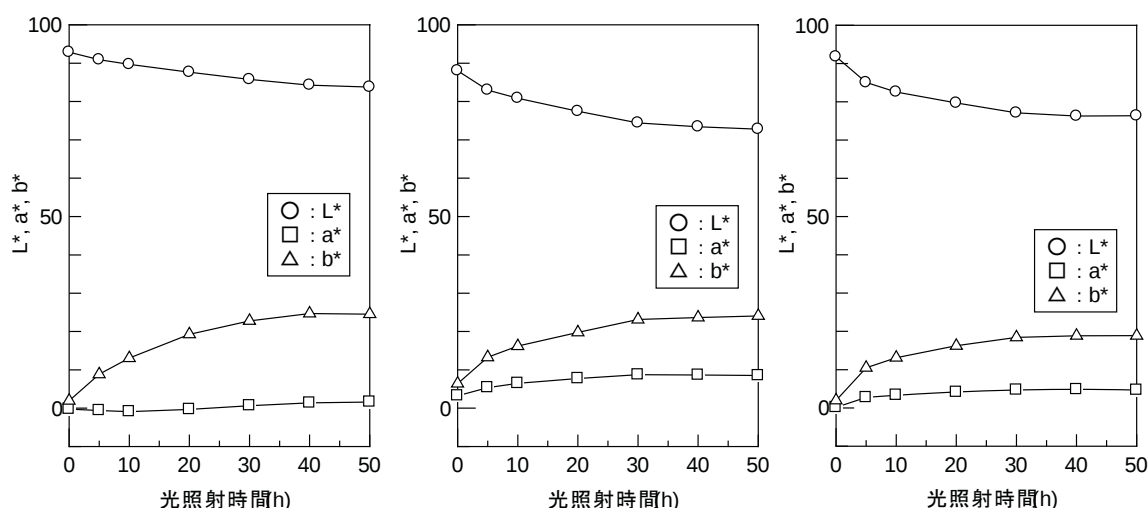


図2. 2wt%バニリン、2wt%レゾルシン、および2wt%カテコールの光照射による色変化

種のフェノール化合物の3段階のレベルの濃度すべてにおいて、光照射時間にもない、明度指数(L*)の低下、クロマティックネス指数(a*およびb*)の上昇が見られた。

図3に用いた低分子フェノール化合物4wt%の光照射50時間におけるa*とb*の関係を示す。3,4-ジメトキシベンズアルデヒド、バニリン、イソオイゲノール、およびp-ヒドロキシフェニル酢酸は、光照射によってb*の明らかな上昇が見られるが、a*の上昇は小さかった。すなわち、黄変は進行するが、赤変はほとんどしないことを示す。一方、レゾルシン、2-メチルヒドロキノン、およびヒドロキノンはa*、b*ともに上昇した。すなわち、黄変、赤変ともに引き起こされることを示す。

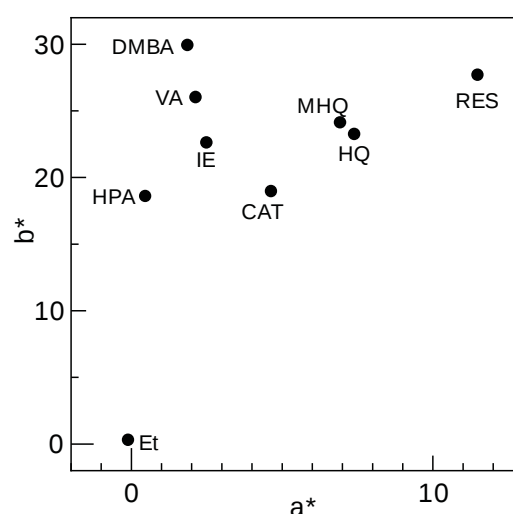


図3. 低分子フェノール化合物4wt%の光照射50時間におけるa*とb*の関係

上記の結果から L^* の低下は一次反応 ($y=y_0\exp(-kt)$) に従うと仮定し、反応速度定数 $k(h^{-1})$ を求めた。結果を表1に示す。

表1. フェノール化合物の光照射による L^* の低下の
反応速度定数 $k(h^{-1})$

	1wt%	2wt%	4wt%
VA	1.54×10^{-3}	2.06×10^{-3}	2.20×10^{-3}
RES	2.51×10^{-3}	3.60×10^{-3}	5.33×10^{-3}
CAT	1.97×10^{-3}	3.29×10^{-3}	5.05×10^{-3}
HPA	0.49×10^{-3}	0.94×10^{-3}	1.47×10^{-3}
DMBA	0.88×10^{-3}	1.85×10^{-3}	2.36×10^{-3}
MHQ	1.43×10^{-3}	3.62×10^{-3}	5.87×10^{-3}
HQ	2.21×10^{-3}	4.67×10^{-3}	6.54×10^{-3}
IE	1.16×10^{-3}	2.06×10^{-3}	2.06×10^{-3}

反応速度定数は濃度の上昇とともに大きくなるが、イソオイゲノールやバニリンは飽和しやすいことがわかった。反応速度が大きいものは、少量の添加量で着色効果を得ることができるとされる。その一方、反応速度が小さいものは、同等の着色効果を得るには多量の添加が必要である。しかし、濃度制御などの取り扱いやすさは、反応速度が小さい添加剤の方が行いやすい。

3.2 加熱処理木材の光変色

図4に水蒸気処理材の光照射による L^* の変化を示す。無処理や熱処理条件が緩和なものは、光照射によって L^* は低下した。一方、水蒸気処理温度が 180°C の処理材は、熱処理によって著しく褐色化し、光照射によって L^* の上昇、すなわち退色した。その退色の程度は熱処理条件が厳しいもの、つまり、熱処理時間が長いものの方が大きかった。クロマティックネス指数 a^* については、熱処理条件による違いはほとんど見られず、光照射による変化もほとんど見られなかった。クロマティックネス指数 b^* は、無処理材および熱処理条件が緩やかなものについては、上昇した。熱処理条件が厳しいものについては、光照射の初期段階で b^* の低下が見られ、その後、緩やかに上昇した。これらのことから、加熱処理木材の退色は、光照射初期の b^* の低下によるものと考えられる。

熱処理条件が厳しい場合に限り、塗料にフェノール化合物を添加することにより、見かけの退色を低減できると推測される。

今後、加熱処理木材の退色について反応速度論

を適用し、最適な添加量を推測するとともに、塗料にフェノール化合物を添加することによる塗膜性能（例えば、密着性など）への影響について検討する。

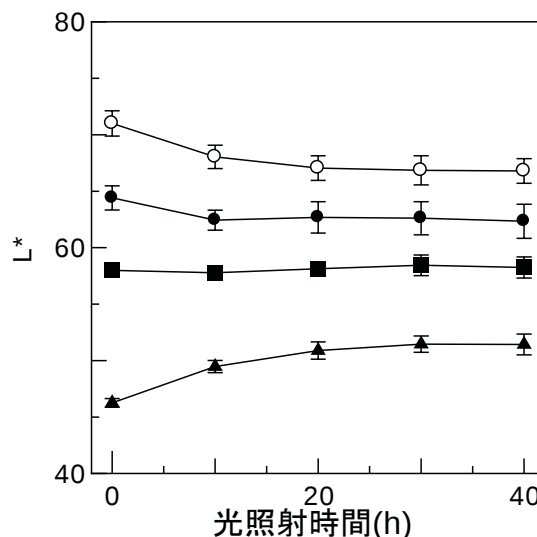


図4. 加熱処理木材の光照射による材色変化

○：無処理、●：140°C4時間処理

■：160°C4時間処理

▲：180°C4時間処理

試料：スギ材

4. まとめ

本研究ではフェノール化合物8種と加熱処理木材の光変色について検討した。その結果、すべてのフェノール化合物において、光照射にともない明度指数 (L^*) の低下、およびクロマティックネス指数 (a^* および b^*) の上昇が見られた。種類によりクロマティックネス指数の上昇の程度は異なった。加熱処理木材において、熱処理条件によって、材色変化の傾向が異なった。熱処理条件が厳しい場合、光照射による退色が引き起こされた。

参考文献

- 1) P. Navi, D. Sandberg, "Thermo-hydro-mechanical processing of wood" Lausanne, EPFL Press, 2012, 360p
- 2) C.A.S. Hill, "Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes", West Sussex, John Wiley & Sons, 2005, 239p
- 3) D. Letourneau, M. Irmouli, C. Krause, C. Belloncle, Colour stability of three different heat-treated wood species during artificial weathering, In: Proceedings of The Second European Conference on Wood Modification, Göttingen, 2005, 57-60.

熱処理圧縮木材からのアルデヒドおよびVOCの放散特性と その低減化手法(第1報) スギ圧縮材の放散成分の定性および定量分析

伊藤国億*

Aldehyde and volatile organic compound emission from compressed wood
and its reduction method(I)

Qualitative and quantitative analysis of emission compound from sugi wood compressed

Kuniyasu Ito*

圧縮処理された木材から放散した成分を検証するため、放散成分は吸着管で捕集し、DNPH誘導体化-HPLC法および加熱脱着-GCMS法により成分分析した。圧縮処理によって木材主要成分が一部分解しフルフラールが放散された。また、圧縮材は気乾材に比べホルムアルデヒドやアセトアルデヒド、メタノール、酢酸、フルフラールの放散量が多かった。養生によりアセトアルデヒド、酢酸の低減効果がみられた。また、テルペン類を同定したところ、気乾材および圧縮材から放散したセスキテルペンに相違はなかった。製造工程毎にその放散量はそれぞれ増減したものの、圧縮材はプレーナー加工により気乾材と同様なテルペン類の香りが発現した。しかし、TVOCに占める酢酸の割合はプレーナー加工後に約28%と高く、木材本来の香りがマスキングされると推察された。

1. 緒言

平成21年12月に木材自給率50%以上を目指す国の森林・林業再生プランが公表され、公共建築物への木材利用が推進されるなか、フローリングや学習机などに圧縮木材が使用されるようになった。これまでにスギやヒノキなどの軟質針葉樹は家具や建具、フローリングなど硬さが要求される部材には敬遠されてきたが、近年の木材の圧縮技術¹⁻³⁾によりその強度や硬さなどは改質されたためその利用は拡大した。

一方、地球温暖化の防止に向けたCO₂排出削減対策として省エネ住宅の普及促進により、住宅は高气密高断熱化が進んでいる。こうしたなか、建材から放散するホルムアルデヒドなど化学物質による室内空気質汚染が問題となった⁴⁾。ホルムアルデヒドやアセトアルデヒドは木材自体から僅かながら放散されることは知られている⁵⁻⁶⁾。材の放散量は少ないものの、石川らの報告⁷⁾によると単板の乾燥工程において温度など乾燥条件の負荷が増すほど

排気ガス中の放散量は増加する。圧縮木材は熱と密閉圧を用いる処理技術で製造されることから、ホルムアルデヒドなどの放散が懸念される。そこで、本研究は圧縮材から放散されるアルデヒド・ケトン類をはじめ、揮発性有機化合物(Volatile Organic Compounds;VOC)まで定性および定量し、その放散特性を検証することとした。

2. 実験方法

2.1 供試材の調製

供試材として、スギ(*Cryptomeria japonica*)の気乾材および圧縮材は飛騨産業(株)に提供してもらった。圧縮材の製造工程は圧縮処理後に含水率を調整するため数日間養生を行い、その後プレーナー加工、塗装と工程を踏む。従って圧縮直後から製品(塗装前)に至るまでの所要時間や加工工程によって放散量は変動することが推測される。そのため、各工程におけるアルデヒド・ケトン類およびVOCの放散量を測定するため、供試材の調整は以下のとおり実施した。予め人口乾燥された気乾材(W:123×L:2000×t:35(mm)、板目、含水率 7.8%)

* 試験研究部

は適宜カットした後、その残材は100℃、20min蒸気処理し、処理後直ちにホットプレスで160℃、30～40分間プレスし、材厚を半分に圧縮(50%)した。圧縮後、適宜カットし、これを圧縮材(圧縮後)とした。圧縮後の残材は含水率8%程度に調整するため3日間養生した。養生後適宜カットし、これを圧縮材(養生後)とした。さらに、養生後の残材はプレーナーで両面を各0.5mm程度削り、これを圧縮材(加工後)とした。

なお、供試材の側面はアルミシールで被覆し、供試材の露出表面積を432cm²とした。

2.2 木材の主要成分分析

気乾材および圧縮材(圧縮後)を微粉化した後、ふるいで60～100メッシュで分級した試料を用い、抽出成分および主要成分の定量を行った。抽出は溶媒にアルコール：ベンゼン(1:2)を用いて6hr抽出した後、溶媒を除去して抽出物量を求めた。また、主要成分分析は抽出後の脱脂木粉を用い、ホロセルロース、 α -セルロースおよびリグニン(KL)を定量した⁸⁾。

2.3 アルデヒド・ケトン類およびVOCの捕集

JIS-A1901に準拠し、供試材から放散する成分をそれぞれ以下のとおりに捕集した。放散成分のうち、アルデヒド・ケトン類の捕集はDNPHカートリッジ(SIBATA社製)を用い、放散開始から1日後、3日後および7日後に各4L捕集(流量 167ml/min)した。また、テルペン類の捕集はTenaxTA(Supelco社製、6.3mm O.D.×89mm)を用い、木材の加熱処理により生じる酢酸など極性化合物はCarbotrap300(Supelco社製、6.3mm O.D.×89mm)を用いて放散開始から1日後、3日後および7日後にそれぞれ2L捕集(流量 167ml/min)した。

2.4 アルデヒド・ケトン類のHPLC分析

各捕集管に捕集されたアルデヒド・ケトンのDNPH誘導体はアセトニトリル(和光純薬工業(株)社製、HPLC用)で溶出し、5mlにそれぞれ定容した。これを表1に示す条件でHPLC(日本分光製)分析に供した。なお、標準物質は6種および16種アルデヒド-DNPH混合標準液(和光純薬工業(株)社製、HPLC用)を用い、ピーク保持時間から捕集したアルデヒド・ケトン類を定性した。また、フルフラール(和光純薬工業(株)社製、1級)をアセトニトリルで溶解し、これを未使用のDNPHカートリッジに添加して溶出した溶液を標準液とした。定性した成分は標準液から検量線を作成し定量した。

2.5 VOCの加熱脱着-GC/MS分析

酢酸等の極性化合物やテルペン類は表2に示す条件で加熱脱着-GC/MS法により分析した。なお、内部標準にトルエンd8(GLサイエンス(株)社製、内部

標準用)を用い、n-ヘキサンからn-ヘキサデカンの範囲に検出される全てのピークの面積を合計し、トルエン換算した値をVOCの総量(Total Volatile Organic Compounds ; TVOC)として求めた⁹⁾。また、テルペン類の定性分析にはカラムにDB-5(Agilent、30m×0.25mm×0.25 μ m)を用い、n-アルカン(C7-C33, Restek社製)を標準物質としてリテンションインデックスを作成した。精油のマススペクトル・データベース¹⁰⁾のGCリテンションインデックスおよびNISTライブラリよりテルペン類を定性した。

表1 HPLC分析条件

カラム	Crestpak C18S、4.6×150mm
移動相	A液 水:アセトニトリル:THF(6:3:1) B液 水:アセトニトリル(4:6)
グラジェント	0-3min. A液100%, 3-15min. A液100%→ B液100%, 15-25min. B液100%
流量	1.5ml/min
カラム温度	40℃
検出	UV 360nm

表2 加熱脱着-GC/MS法の分析条件

加熱脱着装置	Perkinelmer TurboMatrix650
ページ	3min
脱着流量	50ml/min
温度及び時間	300℃・10min
スプリット	入口 30ml/min 出口 45ml/min、注入率1.4%
トラップ	TenaxTA/ Carboxen1000
トラップ加熱	20℃-(40℃/s)-300℃(15min)
トランスファーライン	280℃
GC/MS	Shimadzu GC17A/QP5050A
測定モード	SCAN
キャリアガス	He、1ml/min
オープン	40℃-(10℃/min)-230℃(16min)
カラム	DB-624 (60m×0.25mm i.d.×1.4 μ m)
MS温度	230℃

3. 結果

3.1 木材の主要成分分析

気乾材および圧縮材(圧縮後)の主要成分分析した結果を表3に示す。圧縮材は気乾材に比べてホロセルロースおよび α -セルロース量が少なく、抽出物は僅かに増加した。ホロセルロースから α -セルロースを除いた量をおおよそそのヘミセルロースと考えると、その成分量は気乾材が30.6%、圧縮材が23.7%であり、圧縮材のヘミセルロース量は大きく減少したと言える。東原らの報告¹¹⁾によると180℃、60-720分の水蒸気処理および熱処理により

表3 気乾材および圧縮材の主要成分量[%]

	気乾材	圧縮材
アルベン抽出物	1.5	1.9
ホロセルロース	77.3	65.8
α -セルロース	46.7	42.1
リグニン (KL)	32.2	33.3

ヘミセルロースや α -セルロースは熱減成する。本実験は熱板温度が160℃であるものの、圧縮による物理的破壊も生じ、 α -セルロースおよびヘミセルロースが低分子化して減少したと考えられる。

3.2 アルデヒド・ケトン類の定性および定量

チャンバー法1日後の気乾材および圧縮材(圧縮後)から放散したアルデヒド・ケトンのDNPH誘導体のHPLCクロマトグラムを図1に示す。気乾材はホルムアルデヒドやアセトンが僅かに検出された。圧縮材もホルムアルデヒドやアセトンが検出されたが、他に気乾材で定量下限値以下であったアセトアルデヒドやフルフラールも検出された。フルフラールの検出は木材成分のヘミセルロースの分解が生じたことを追認した。また、圧縮材のアルデヒド・ケトン類の放散量は気乾材に比べて総じて多かった。本実験の圧縮処理は気乾材とは異なる放散成分を生じ、放散量はかなり多いことが認められた。

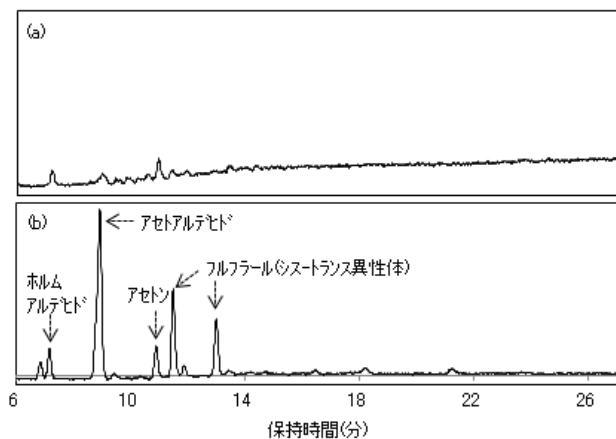


図1 アルデヒド・ケトン類のDNPH誘導体のHPLCクロマトグラム

(a) 気乾材、(b) 圧縮材

圧縮材(圧縮後)から放散したホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、アセトンの定量値から放散速度をそれぞれ求めた。各成分の放散速度の経時変化を図2に示す。いずれの成分も時間経過とともに減衰し、7日後にホルムアルデヒドおよびアセトンは半減し、それぞれ $8 \mu\text{g}/\text{m}^2 \text{h}$ 、 $22 \mu\text{g}/\text{m}^2 \text{h}$ であっ

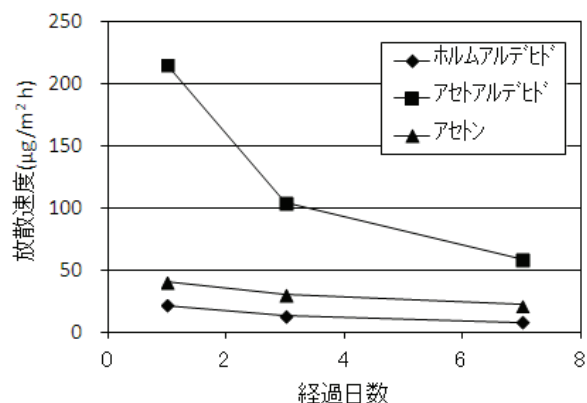


図2 圧縮材におけるアルデヒド・ケトン類の放散速度経時変化

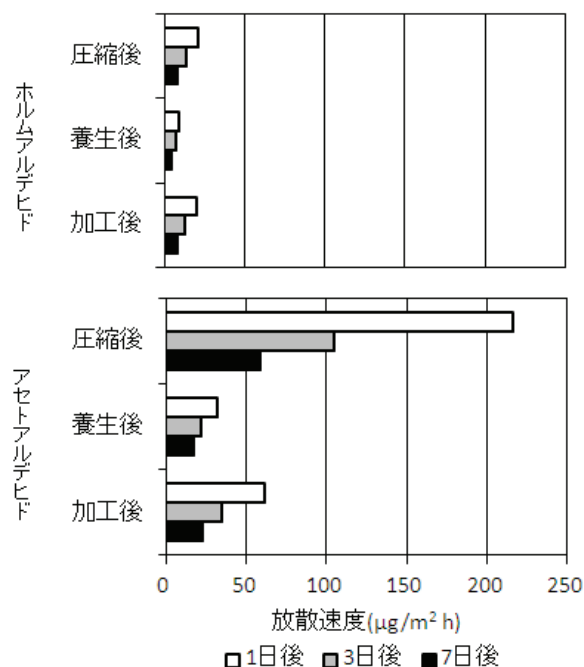


図3 各工程後におけるホルムアルデヒドおよびアセトアルデヒドの放散速度経時変化

た。また、アセトアルデヒドは大きく減衰したものの、 $59 \mu\text{g}/\text{m}^2 \text{h}$ と高い値であった。

各工程後のホルムアルデヒドおよびアセトアルデヒドの放散速度経時変化を図3に示す。ホルムアルデヒドの放散はいずれも時間経過とともに減衰した。また、養生後の減衰傾向は他の工程に比べ弱かった。アセトアルデヒドもいずれの工程も減衰したが、ホルムアルデヒドと同様に養生後の減衰傾向は弱かった。養生は乾燥室で約3日間かけて平衡含水率を8%程度に調整させたことから、材表層の放散過程は他の工程と異なり、傾向が弱まっ

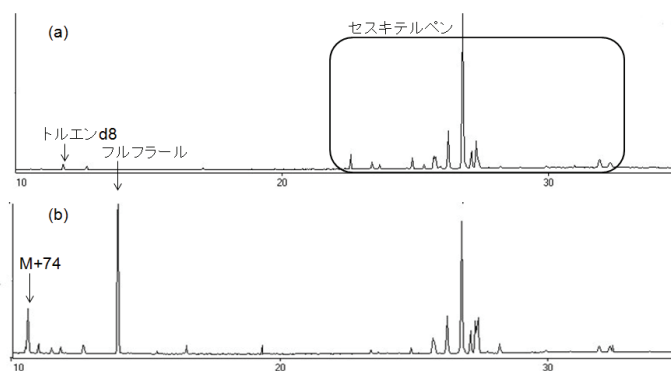


図4 TenaxTAで捕集した成分のTICチャート
(a) 気乾材 (b) 圧縮材

たとえられる。また、圧縮後および加工後のホルムアルデヒド放散量はほぼ同じであったが、アセトアルデヒド放散量は相違し、加工後の放散量は圧縮後に比べ大きく低下した。今回の製造工程による有害成分の低減はホルムアルデヒドにはなかったが、アセトアルデヒドにはみられた。しかしながら重要なことは依然と放散量が多く放散量を低減する手法を考案する必要がある。

3.3 VOCの定性および定量

1日後の気乾材および圧縮材(圧縮後)から放散される成分をTenaxTAで捕集した。この捕集成分のTICチャートを図4に示す。気乾材で検出されなかったフルフラールが圧縮材に検出されたことは先のHPLC分析でフルフラールが検出されたことに一致した。また、両供試材の各ピークの保持時間は同じであり、ピークの多くはセスキテルペンであった。しかし、同じ保持時間におけるピーク強度はピーク毎に相違した。なお、圧縮材から放散されたテルペン類などVOCの同定は精油データベースのリテンションインデックスおよびマススペクトルから行い、同定した成分を表4に示した。

Carbotrap300で捕集した圧縮材(圧縮後)から放散される成分のTICチャートを図5に示す。メタノールや酢酸など極性化合物のほか、保持時間の長いテルペン類も検出された。しかし、テルペン類の定量にバラツキがみられたため、Carbotrap300による定量はバラツキのない保持時間10分までのピークを対象に行った。圧縮材はNISTライブラリからギ酸メチルや酢酸メチル、酢酸エチル、アセトン、ギ酸、メタノールおよび酢酸が認められたが、その放散割合のほとんどがメタノールと酢酸であった。各ピークの定量(トルエン換算値)を試みたが、このうちメタノールは破過が確認されたため、以後は放散割合の高い酢酸のみを定量することとした。

表4 圧縮材から放散されたVOC

No.	成分名
1	Furfural
2	α -Copaene
3	β -Caryophyllene
4	α -Caryophyllene
5	γ -Gurjunene
6	α -Murolene
7	γ -Cadinene
8	δ -Cadinene
9	trans-Calamenene
10	Zonarene
11	trans-Cadina-1,4-diene
12	M+200
13	α -Calacorene
14	Cadalene

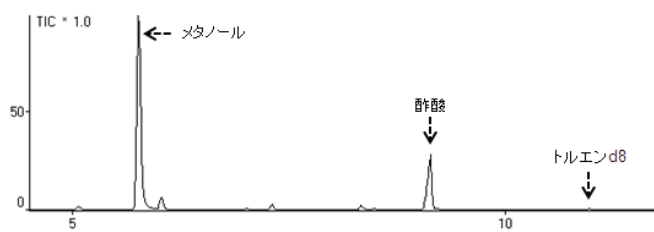


図5 Carbotrap300で捕集した成分のTICチャート

チャンバー内における各供試材の主要なVOC成分およびTVOCの放散濃度を表5に示す。なお、放散量の多かったセスキテルペンは α -Murolene (No. 6)、 δ -Cadinene (No. 8)、trans-Calamenene (No. 9)、Zonarene (No. 10)、trans-Cadina-1,4-diene (No. 11)であったが、TVOC量にはn-ヘキサンより溶出の早いピーク(メタノール等)やn-ヘキサデカンよりも溶出の遅いピーク(表4のNo. 11以降のセスキテルペン類)は含まれていない。

酢酸の放散濃度は圧縮後、 $7,187 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と気乾材の約55倍に増加した。いずれの工程も時間経過とともに減衰し、各工程の7日後の放散濃度は気乾材に比べ圧縮後に約22倍、養生後に約7倍、加工後に約8倍であった。酢酸の初期放散量は多かったが、養生後および加工後は7日後に大きく減衰したことから、養生工程によって酢酸を大幅に低減できることが示唆された。なお、養生後の各成分の減衰傾向は他の工程に比べ弱く、アルデヒド類と同様な放散過程を示した。

フルフラール(No. 1)の放散濃度もいずれの工程においても時間経過とともに減衰したが、加工後と養生後の減衰傾向はほぼ変わらず、アルデヒド

表5 各供試材から放散した主要VOCおよびTVOCの経時変化[単位; $\mu\text{g}/\text{m}^3$]

供試材	経過日数	TVOC	酢酸	No.1	No.6	No.8	No.9	No.10	No.11
気乾材	1日後	4,083	130	—*	475	2,006	382	221	82
	3日後	2,801	117	—	303	1,224	238	133	54
	7日後	2,028	135	—	226	912	198	96	45
圧縮後	1日後	11,756	7,187	929	453	1,333	349	229	384
	3日後	6,905	4,110	465	249	768	223	141	189
	7日後	5,139	2,942	287	198	621	154	102	151
養生後	1日後	3,762	1,468	255	228	741	216	128	153
	3日後	3,518	1,356	259	218	658	209	105	149
	7日後	3,062	922	122	103	311	80	56	66
加工後	1日後	12,342	3,527	651	1,102	3,956	914	625	958
	3日後	6,634	2,142	513	462	1,631	448	278	413
	7日後	4,009	1,139	299	301	999	264	174	238

※—；未検出

類や酢酸とは異なる放散過程を示した。

主要なセスキテルペンのうち、最も放散量の多かった δ -Cadinene は圧縮後に大きく減衰し、反対に trans-Cadina-1,4-diene は増加し、その他のセスキテルペンではほとんど変わらなかった。圧縮処理の熱的影響により圧縮後の放散量が変動したと考えられる。また、加工後の放散量は気乾材よりも多かった。つまり、圧縮材はプレーナー加工により気乾材と同様なテルペン類の香りを発現した。一方、TVOC に占める酢酸の割合は圧縮後(1日後)に約61%と極めて高かった。7日後においては気乾材の約7%に比べ、加工後は約28%と依然と高かった。これらのことから木の香りをマスキングすると推測され、低減する手法を考案する必要がある。

4. まとめ

圧縮処理された木材の放散成分を検証するため、小形チャンバー法により気乾材および圧縮材から放散するアルデヒド・ケトン類およびVOCを捕集し、成分の定性および定量分析を行った。また、木材主要成分の分析も行い、以下の知見を得た。

- (1) 圧縮処理によって木材主要成分の α -セルロースやヘミセルロースは一部分解され、フルフラールが放散された。
- (2) 圧縮材は気乾材に比べホルムアルデヒドやアセトアルデヒド、メタノール、酢酸、フルフラールの放散量が多かった。
- (3) 製造工程下の養生による低減効果はアセトアルデヒドや酢酸にみられたものの、依然と放散量は多かった。
- (4) 気乾材および圧縮材のテルペン類を同定したところ、放散したセスキテルペンに相違はみられなかった。
- (5) 製造工程毎にセスキテルペン放散量はそれぞれ増減したものの、圧縮材はプレーナー加工により気乾材と同様なテルペン類の香りが発現し

た。

(6) TVOC に占める酢酸の割合は圧縮後(1日後)に約61%と高く、その割合は時間経過とともに減衰するものの、加工後(7日後)に約28%と依然と高かった。

これらのことから、放散量の多かったアルデヒド類や酢酸を低減する手法を検討する必要がある。

謝辞

本研究にあたりサンプルをご提供いただいた飛騨産業㈱の皆様方に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 棚橋光彦：木材工業，Vol.53，No.12，pp.589-594，1998.
- 2) 井上雅文ら：木材学会誌，Vol.52，No.3，pp.173-177，2006.
- 3) 河瀬忠弘ら：塑性と加工，Vol.49，No.565，pp.133-137，2008.
- 4) 吉田弥明：木材工業，Vol.60，No.11，pp.524-528，2005.
- 5) 松田俊一ら：木材工業，Vol.59，No.2，pp.67-72，2004.
- 6) 大平辰朗：木材工業，Vol.60，No.11，pp.556-559，2005.
- 7) 石川敦子：森林総合研究所研究報告，Vol.8 No.4(No.413)，pp.215-222，2009.
- 8) 「木材科学実験書(Ⅱ)化学編」，中外産業調査会，pp.152-160，1989.
- 9) 日本建築学会「総揮発性有機化合物による室内空気汚染防止に関する濃度等規準・同解説」，丸善，pp.32-35，2010.
- 10) Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography / Mass Spectrometry 4th Edition (2007).
- 11) 東原貴志ら：木材学会誌，Vol.50，No.3，pp.159-167，2004.

座位姿勢における臀部形状の分析と座面形状の提案

藤巻吾朗^{*1}, 成瀬哲哉^{*1}, 宮川成門^{*1}, 稲垣能嗣^{*2}, 日比聖^{*2}

Analysis of Buttock Shapes in Sitting Posture and Proposal of a Seat-pan Shape

Goroh FUJIMAKI^{*1}, Tetsuya NARUSE^{*1}, Naruto MIYAGAWA^{*1}, Yoshitsugu INAGAKI^{*2}, Hijiri HIBI^{*2}

座位姿勢における臀部形状のデータを収集し、性別や体格等による臀部形状の違いがどの部位に表れるかを分析した。また、収集した臀部形状データの平均値や標準偏差、最大値をもとに形状モデルを試作し、その評価結果をもとに形状提案に際しての具体的な課題点を抽出した。これらの知見をもとに体格差や性別差を考慮した座面形状の提案を行った。また、過去の研究成果をもとに、背もたれを含むシートの基本設計値を導き出した。今後は、提案した座面形状の体圧分散性や座り心地の評価を実施することで、その有効性を検討し、自動車等の輸送機シートへの導入を目指す。

1. はじめに

椅子やシートの形状を人体に適合させることは、体圧分散性、姿勢保持、身体負担の軽減に繋がり、快適性の向上に繋がることが示唆されている^{1)~3)}。また、体圧分散性の向上によりクッションのスリム化が可能となるため、自動車等の輸送機において重視される軽量化や居住スペースの確保が可能となり、その有用性は高い。しかし、人体形状には性別差、体格差を含む個人差があり、より多くの人に適したシート形状を検討することは困難である。また、座位姿勢における人体形状については、上半身の形状を分析した事例はあるが⁴⁾、臀部や大腿部を測定した事例は少なく、データとしての蓄積がない。

本研究では、座位姿勢で最も体重のかかる臀部、大腿部の形状に着目し、性別や体格等の個人差や姿勢による違いを分析することで、工業製品として汎用性の高い座面形状を提案することを目的とした。

2. 臀部形状の測定について

2.1 測定システムの概要

臀部形状の測定は昨年度開発したシステム⁵⁾を

基盤に測定用プログラムのパラメータ調整を行い、測定用椅子は座面、背面それぞれの角度調節が可能なものに変更した。



図1 測定システム

2.2 測定精度

測定用プログラムのパラメータ調整を行った結果、課題であった曲面形状の測定精度が向上し、95%のデータが誤差3mm以内で測定可能となった。

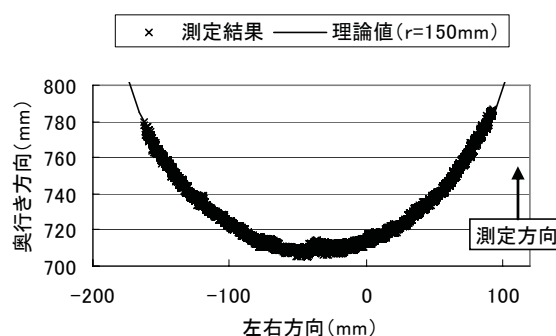


図2 測定結果の一例 (r=150mmの円柱)

^{*1} 試験研究部

^{*2} 丸菱工業株式会社 (企画部)

3. 座位姿勢における臀部形状の特性把握

3.1 実験概要

座位姿勢における臀部形状の体格や角度条件による違いを把握するため、被験者37名（表1）を対象に表2に示す測定条件で座ったときの臀部形状の測定を行った。



図3 測定風景

表1 被験者の身体特性

	N(人)	身長(mm)		
		平均 (標準偏差)	最大	最小
男性被験者	24	1721 (69.7)	1890	1600
女性被験者	13	1572 (48.8)	1650	1510
被験者全体	37	1669 (95.7)	1890	1510

表2 測定条件

	角度条件
条件1	座面0° / 背面90° (背当てなし)
条件2	座面0° / 背面110°
条件3	座面0° / 背面120°

3.2 結果と考察

測定結果は、ノイズ・穴埋め処理を行い、座部底面から見て縦横10mm間隔の等間隔データとして再サンプリングした（図4）。得られたデータをもとに主成分分析を行い、体格や性別、姿勢による形状の違いがどの部位に現れるかを調べた。

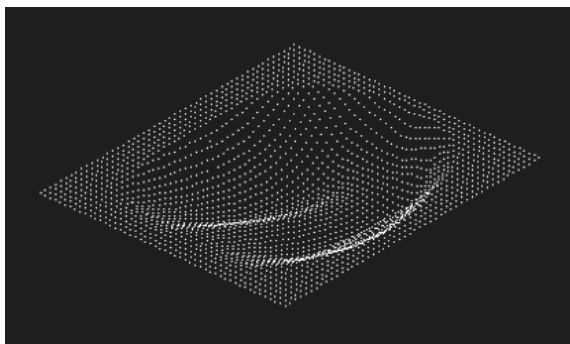


図4 分析したデータの一例

主成分分析の結果、体格や性別による形状の違いを表す主要な因子が抽出された。今回の実験では、姿勢による形状の違いは見られなかった。

図5は主に体格の違いを表す因子であり、大腿部や臀部の肉付きによる形状の違いを示していると考えられた。図中の黒色の部位が大きい人は灰色の部位が小さく、黒色の部位が小さい人は灰色の部位が大きい傾向があった。

図6は主に性別の違いを表す因子であると考えられた。男性は女性と比較して、図中の黒色の部位が大きく、灰色の部分の小さい傾向が見られた。これは、骨盤部の形状や着座姿勢の性別差が影響していると考えられ、男性は女性と比較して臀部の後方の肉付きが少なく、大腿部の肉付きが多いことや脚を開いて座る傾向があることが関係していると考えられた。

図7は後に示す形状モデルの評価結果より不快感と関連性の高い因子であると考えられた。性別や体格等による違いは見られなかった。図中の黒色の部分が接触すると不快を感じやすい傾向があった。

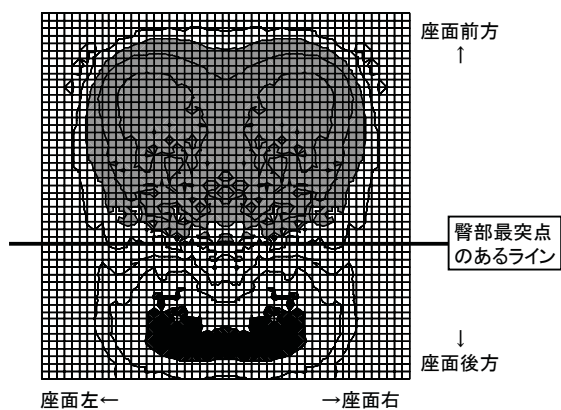


図5 体格差を表す形状因子

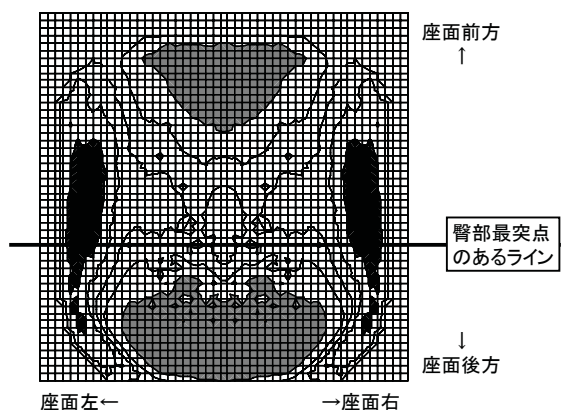


図6 性別差を表す形状因子

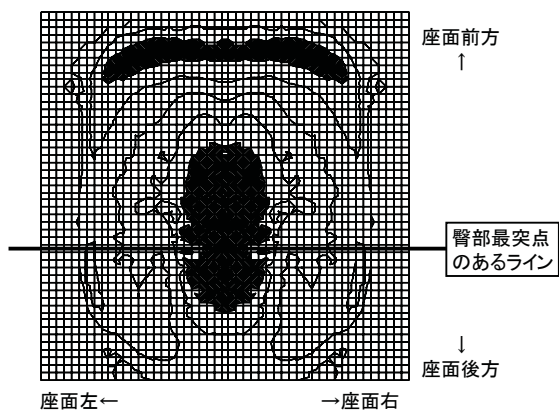


図7 不快感と関連性の高い形状因子

4. 座面形状の提案

4.1 形状モデルの試作と評価

37名の臀部形状データをもとに各測定点における平均値、標準偏差、最大値を算出し、スタyroフォームを使用した形状モデルの試作を行った(図8)。試作した形状モデルについて、8名の被験者(表3)を対象に体圧分布測定ならびに座り心地に関するアンケート調査を行い、座面形状を検討するための参考とした。評価の際は、過去の研究で座り心地の良い角度条件であった座面角度10度、座面-背面角度110度⁶⁾のシートに試作した形状モデルを設置した。



図8 試作した形状モデル(左:平均形状、中央:平均+標準偏差、右:最大形状)

表3 被験者の身体特性

	N(人)	身長(mm)		
		平均(標準偏差)	最大	最小
男性被験者	4	1730 (24.5)	1760	1700
女性被験者	4	1595 (61.9)	1650	1510
被験者全体	8	1662 (84.3)	1760	1510

4.1.1 体圧分布測定結果

図9～図11に測定結果の一例を示す。形状モデルすべてにおいて、半数以上の被験者で臀部中央付近および大腿下部での圧力の集中が確認された。

また、平均形状は他の形状モデルと比較して、ピーク圧力が低く、体圧分散性が高かったが、男性被験者については大腿側部で圧力の集中がみられた。

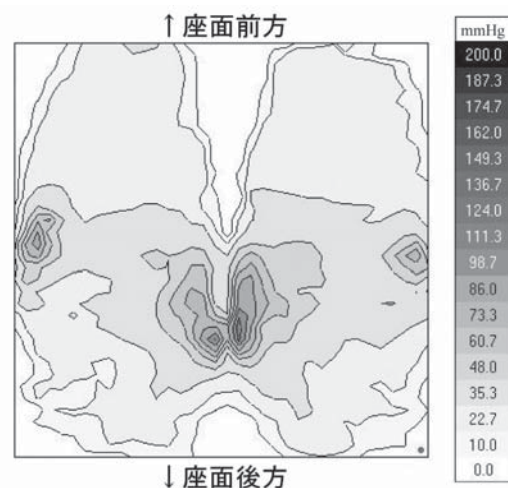


図9 体圧分布測定結果の一例(平均形状)

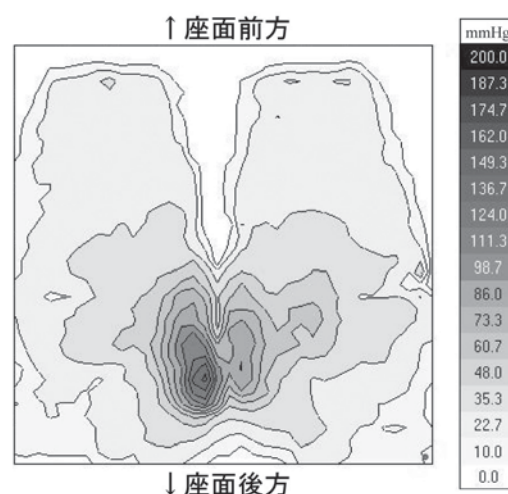


図10 体圧分布測定結果の一例(平均+標準偏差)

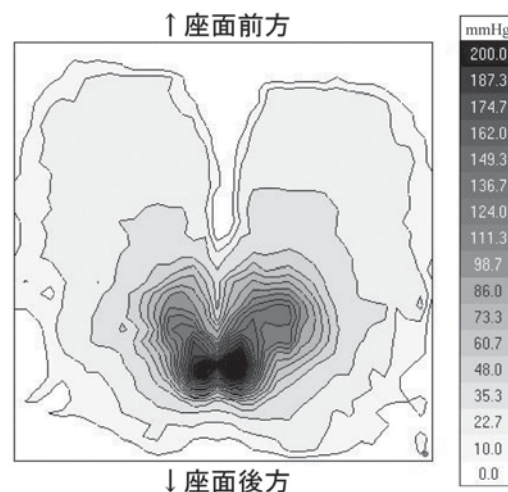


図11 体圧分布測定結果の一例(最大形状)

4.1.2 アンケート調査結果

図12～図15にアンケート調査の集計結果を示す。男性被験者、女性被験者ともに最大形状以外の形状モデルで膝裏に痛みや不快感を訴えた。

男性被験者については、すべての形状モデルで臀部中央付近に痛みや不快感を訴えており、平均形状については大腿側部に痛みや不快感を訴えた。

女性被験者については、すべての形状モデルで臀部後方の支持不足を感じおり、形状モデルの奥行き寸法が影響していることが考えられた。男性被験者で多かった臀部中央付近の痛みを訴えたのは最大形状のみであった。また、平均形状以外の形状モデルでは大腿側部の支持不足を感じていた。

総合的な座り心地の評価に関しては、全体の平均としては「普通」であったが、評価のばらつきが大きく、形状モデル間で統計的に有意な差は見られなかった。また、男性に比べて女性の評価が低い傾向があった。これは、臀部後方の支持不足が理由として考えられた。

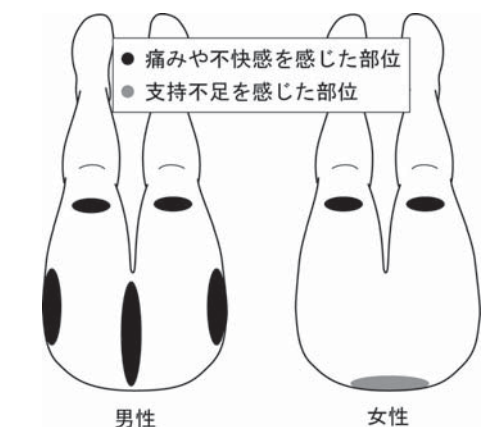


図12 アンケート調査結果（平均形状）

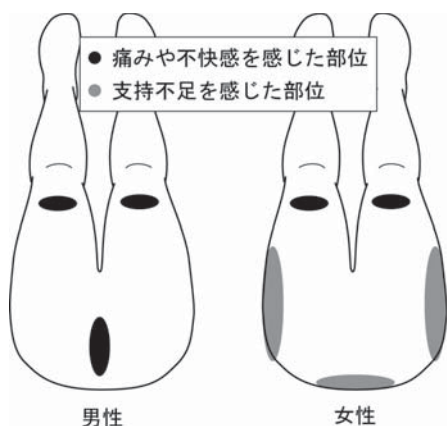


図13 アンケート調査結果（平均+標準偏差）

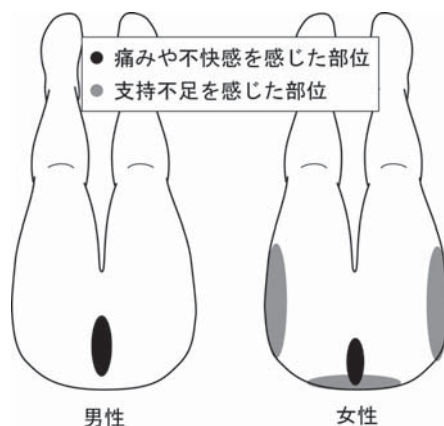


図14 アンケート調査結果（最大形状）

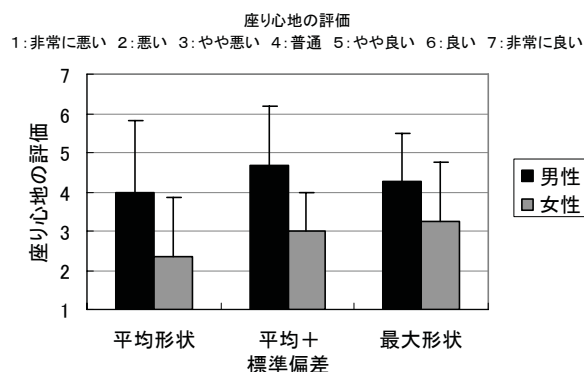


図15 座り心地の評価

4.2 座面形状の提案

形状モデルについては、全体的に体圧分散性が高かったが、座り心地の改善が課題となった。そこで、体圧分散性の最も高かった平均形状を基盤に不快感の除去や性別差を緩和する形状を検討した（図16）。形状検討には、主成分分析の結果より抽出された形状因子を使用した。不快感の除去のため、図7に示した黒色の部分に最大値を代入した。また、性別差の緩和については、性別差を表す形状因子である図6の黒色、の部分に最大値を代入し、さらに奥行き寸法の問題等を考慮し、灰色の部分には座面前方の部分のみ最大値を代入した。しかし、このままでは女性の大腿側部の支持不足が懸念されたため、20mm～30mm厚の軟らかいクッションを使用することを前提とし、それにより、性別差の緩和を試みた。図5に示した体格差を表す形状因子については、座面の角度条件の影響が強いと考えられたため、形状モデルの検討には含めなかった。

また、提案した座面形状に過去の研究成果⁷⁾を照らし合わせ、背もたれを含むシート寸法値や角度条件（可動範囲）等の基本設計値を導き出した（図17）。

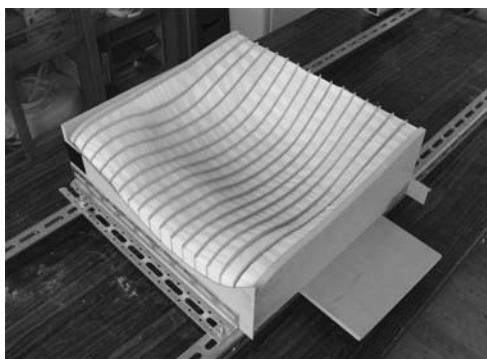


図16 提案した座面形状（クッションなし）



図17 提案したシートの基本設計値の確認

参考文献

- 1) 野呂影勇：座り心地品質の可視化と表示法，日本人間工学会第 16 回システム大会講演集，in CD，2008.
- 2) Hirao, A., et al.: Development of a New Driving Posture Focused Biomechanical Loads, SAE Paper 2006-01-1302, 2006.
- 3) 山崎 信寿，裕一：短時間休息用剛体支持面安楽寝椅子の形状適合化，人間工学，Vol. 36，No. 1，pp. 29-37，2000.
- 4) 藤巻吾朗：立位・座位姿勢での人体の 3 次元形状，平成 19 年度岐阜県生活技術研究所研究報告，No. 10，pp. 8-10，2008.
- 5) 藤巻吾朗他：座位姿勢における人体形状測定システムの開発，平成 23 年度岐阜県生活技術研究所研究報告，No. 14，pp. 24-28，2012.
- 6) 藤巻吾朗他：休息用椅子において推奨される角度条件の検討，平成 18 年度岐阜県生活技術研究所研究報告，No. 9，pp. 12-19，2007.
- 7) 藤巻吾朗他：休息用椅子における上体の支持方法の検討，平成 18 年度岐阜県生活技術研究所研究報告，No. 9，pp. 20-29，2007.

5. まとめ

工業製品として汎用性の高い座面形状を提案するために以下を実施した。

- ・測定システムの改善を行い、昨年度までの課題であった曲面形状の測定精度を向上させた。
- ・座位姿勢における臀部形状のデータ収集および分析を行い、性別や体格等による形状の違いを表す主な因子を抽出した。その中には不快感と関連性の強い因子が含まれた。
- ・収集した臀部形状データをもとに座面の形状モデルを試作した。その評価結果をもとに座面形状提案に際しての具体的な課題点を抽出した。
- ・体格差や性別差を考慮した座面形状の提案を行った。また、過去の研究成果をもとに、背もたれを含むシートの基本設計値を導き出した。

今後は、提案した座面形状の体圧分散性や座り心地の評価を実施することで、その有効性を検討し、自動車等の輸送機シートへの導入を目指す。

休息用座椅子の開発

宮川成門*, 藤巻吾朗*

Development of legless easy chair

Naruto MIYAGAWA*, Goroh FUJIMAKI*

休息用座椅子の開発をする上で、背もたれリクライニング機構、快適な休息姿勢、足のむくみ対策、骨盤の安定、省スペース性を課題として設定した。当所先行研究から、快適かつ下腿がむくみにくい(血行動態良好)角度条件を設定し、参考として臥位姿勢と座位姿勢における下腿のむくみ除去効果の違いを測定により調査した。これらの結果を基に、足上げ座位を基本姿勢として背もたれリクライニングが可能な休息用座椅子のプロトタイプを製作した。

1. 緒言

日本の住居は、古くから履物を脱ぎ床に座る様式となっており、椅子の普及が進んだ現在もこの習慣は続いている。この暮らしの中、独自に存在する椅子が座椅子である。家庭用の座椅子には、主に和室での食事等において座卓と共に用いられる製品と、和室や洋室に関係なく、休息用座椅子として使用されている製品が挙げられる。本開発は、この休息用座椅子を対象とするものである。

休息用座椅子は、図 1 のように背もたれの角度調整により休息性を提供するものが主流であり、近年はマッサージ機能や腹筋運動等の機能性を加えた商品、高齢者の起立着座に配慮して、脚部を取り付けた高座椅子といった商品が注目されている。このように休息用座椅子が健康市場へ展開される中、基本となる休息性のさらなる追求が期待される。そこで当所では、座椅子メーカーと共同で、これまで当所で行った椅子座位の快適性を背景に、休息用座椅子の開発を行ったので報告する。



図1 背もたれ角度調整付き座椅子の例

2. 設計条件の設定

座椅子を開発するにあたり、以下の設計条件を設定した。

＝設計条件＝

- ①背もたれリクライニング機構：共同研究企業が持つ商品の特徴を活かし、角度調整ギアにより背もたれリクライニングができるものとする。
- ②快適な休息姿勢：背・座・脚部の角度を快適性が高い条件に設定する。
- ③下腿のむくみ対策：背・座・脚部の角度を足のむくみ除去に配慮した条件に設定する。
- ④骨盤の安定：骨盤の後傾による臀部の前すべりを抑え、長時間座位による臀部や腰部の不快感を少なくする。
- ⑤省スペース性：休息性の高い椅子は厚手のクッション、足乗せ（オットマン）の追加等により大型化の傾向があるが、省スペースの部屋における圧迫感の軽減、輸送コスト、店舗での陳列スペースの確保等の様々な条件に配慮し、コンパクトにして差別化を図る。

3. 調査

3.1 参考とした角度条件

設計条件①～③について、休息椅子の角度条件の絞り込みを行った。開発する椅子はギアを用いて背もたれがリクライニングする機構であるため、ユーザーのギア設定により背座角が変化する。よって、背座角が変化しても快適性かつ下腿のむくみ除去対策の条件を満たす必要がある。このこと

* 試験研究部

から角度条件の参考として、先行研究¹⁾において調査した、背座角 100° 110° 120° の条件下で快適性の主観評価と下肢がむくみにくい（血行動態良好）状態であった、図2の条件を抽出し参考とした。

座傾斜	背座角度 100°	背座角度 110°	背座角度 120°
20°			
15°			
10°			
5°			
0°			

図2 参考とした角度条件

3.2 足のむくみの除去に関する測定

3.2.1 測定内容

下腿のむくみは心臓高さによる静水圧の影響を受けるため、仰臥位足上げがむくみの解消に良いと考えられる。そこで座椅子での座位条件が足上げ仰臥位に対してどの程度むくみ除去の効果を持つのか参考として測定を行った。

測定用機材は、様々な角度条件が設定できる椅子を試験体として作成し、多周波数方式体脂肪計（MLT-30 積水化学工業）による生体電気インピーダンス法²⁾で行った。測定部位は左下腿部とした。

比較方法は、足浮き椅子座位で20分間着座後の下腿をむくませた状態から、角度設定した試験体に移動して、むくみの除去状態を測定した。

測定は、足浮き座位終了後、試験体に移動して、5分経過した時点を経験（試験体移動直後はデータがばらつくため）として開始し、以後30分まで5分間隔で行った。なお、被験者は男性職員2名、女性職員1名とし、運動量が少ない朝出勤後の時間、1日1姿勢として測定を行った。比較する角度条件は以下の4姿勢とし、測定状況を図3、結果を図4に示す。

＝角度条件＝

a.仰臥位

b.座位（下肢全体 0° 背座角 105° ）

c.仰臥位足上げ（下肢全体 20° ）

d.座位足上げ（下腿 0° 大腿部 20° 背座角 100° ）

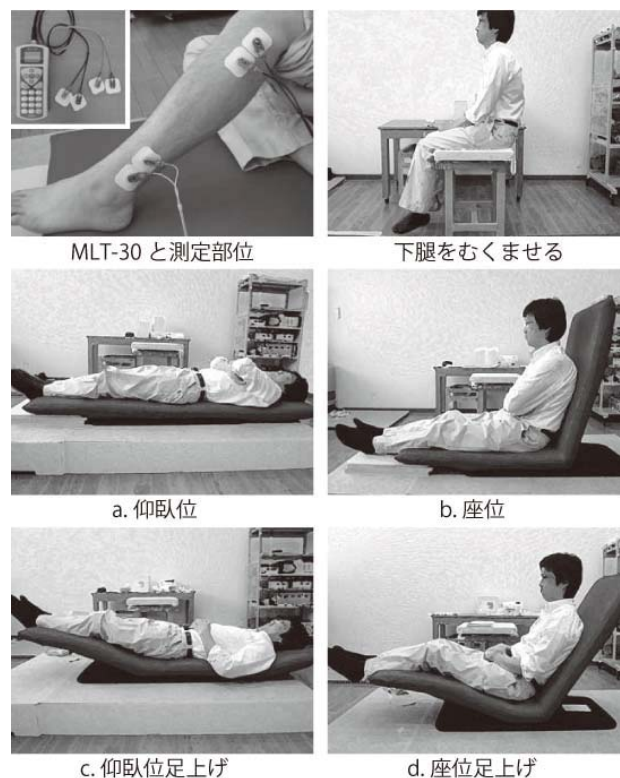


図3 足のむくみ除去に関する測定状況

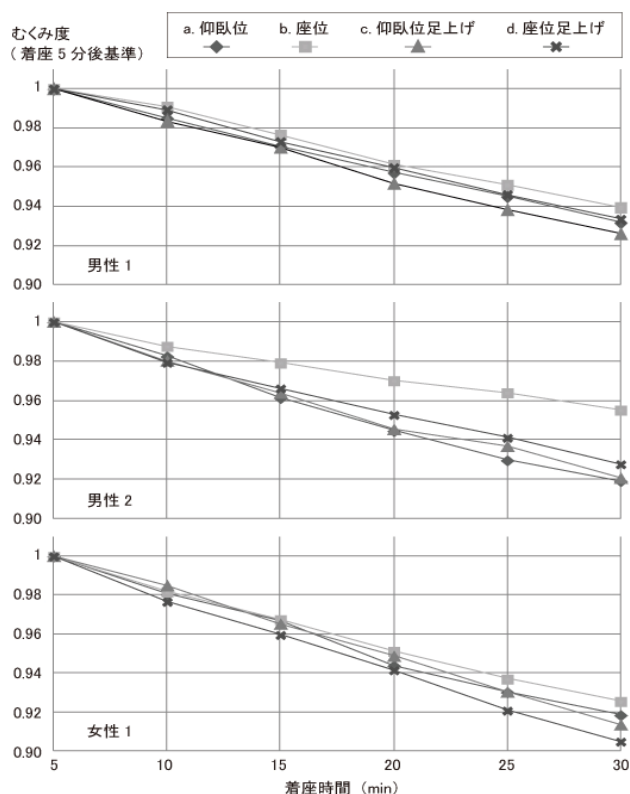


図4 足のむくみ除去に関する測定結果

3.2.2 考察

測定結果では、b.座位においては3名とも共通して最下位であるが、それ以外の姿勢では3名の順位にばらつきがあった。理論上はc.仰臥位足上げがむくみの解消に良いと考えられるが、a.仰臥位、c.仰臥位足上げ、d.座位足上げの姿勢によるむくみの除去状況は、測定日の身体状況の影響の方が大きく、日常生活の中において大きな差が現れるほどの違いは見られない。以上の調査を経て、座位足上げ姿勢をむくみ除去効果が高い座位姿勢として設計を進めることとした。

4.設計

4.1 背座脚角度

上記調査結果から、座位足上げ姿勢を開発する座椅子の基本姿勢とし、座傾斜は15°下腿を0°設定で固定した上で背もたれリクライニング機構を設けることとした。これは、図2の中で、背座角100°110°120°すべてにおいて良好な座面と下腿の角度条件のためであるが、同時に座傾斜による重力のバランスの影響から、設計条件④の前すべりによる不快な座位の抑制を考慮している。

4.2 足乗せ（オットマン）

座面が傾斜した状態で下腿を0°に保つためには足乗せが必要となる。一般的に足乗せは本体一体型で座面との距離が固定となるタイプと、座面から分離したタイプがある。固定タイプは人の下肢の長さとの調整ができないため、図5のように椅子に対して小柄な人が座ると足乗せにおいた下腿が全身を引き寄せる状況をつくり、姿勢が崩れ快適な座位が得られない。このため足乗せは位置調整が可能な分離したタイプにすることとした。また、これにより設計条件⑤の見た目の圧迫感軽減や、折りたたみ時の省スペース性を考慮した。



図5 座面との距離が固定されている足乗せ

4.3 ウレタンクッション構成

背座角度設定において、骨盤の後方回転による臀部の前すべりを抑制するため、座面の傾斜を設

けた。しかし、用いるウレタンクッションが厚く軟らかすぎること、骨盤がクッションの中で後方回転しないよう、坐骨結節および上後腸骨棘付近は硬めのチップウレタンで支え、大腿部、背部、足乗せ部は触感を重視し、軟らかめのウレタンを配置することとした。なお、チップウレタンは、設計条件⑤の省スペース性と、最終的な仕上がり時のボリューム感によるデザイン性から、先に厚みを30mmと決めた。その後、候補とした3種類（25%圧縮時の硬さが220N/300N/440N付近）の硬さの中から、成人男性が座った際に坐骨が底付きしない硬さ確認と、設計者間での着座時の主観的な触感を経て、やや硬め（25%圧縮時の硬さが300N付近）のものを採用することとした。設計概念図を図6に示す。

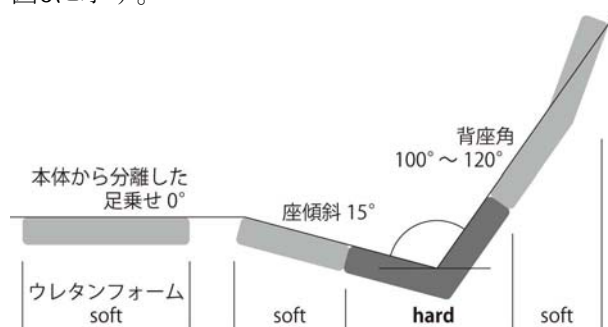


図6 設計概念図

5.プロトタイプ

これらの結果、完成したプロトタイプを図7、着座状態を図8に示す。以下、設計条件の順に概要を説明する。

- ①背もたれリクライニング機構：共同研究企業が使用するギアから16°ピッチギアを用い、4段階のリクライニング設定を可能とした。
- ②快適な休息姿勢および③足のむくみ対策：16°ピッチギアを用いたことで、最終的な角度設定は、座傾斜15°を基準とした面から、背座角100°116°（132°148°：使用ギア段数の都合で追加）の設定となった。また、座面前端と同じ高さの分離型の足乗せを用いることで、下腿長が異なるユーザーでも適切な位置に足乗せを配置できるため、下腿0°設定が可能である。このことから快適な休息性と足のむくみ対策に良好な条件の角度条件が設定可能である。
- ④骨盤の安定：座面傾斜による重力のバランスと坐骨部と腰部を硬めに設定したクッション構成により後方回転することなく安定した支持がえられる。

- ⑤省スペース性：必要最小限の座幅設定と、分離したオットマンにより、実質の占有スペースと見た目のボリュームを小さくできた。また図9のように小さく折りたたみ可能である。これにより他の休息椅子と比較して、部屋における圧迫感の軽減、輸送コスト、店舗での陳列スペースの確保等の課題に配慮している。



図7 完成したプロトタイプ

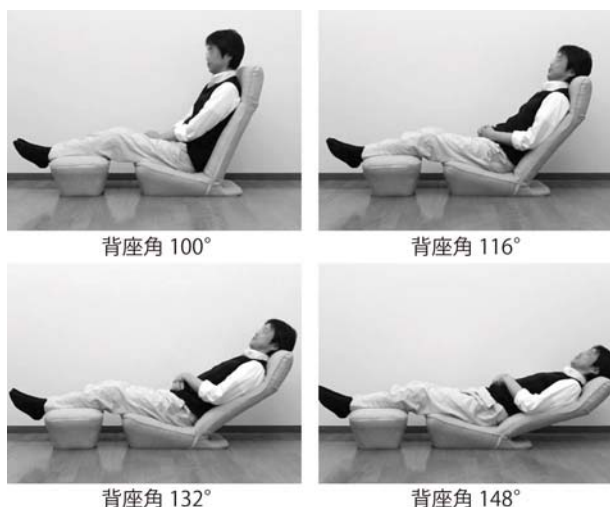


図8 プロトタイプへの着座状態

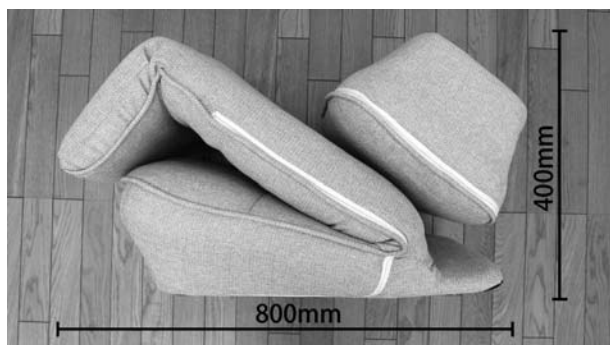


図9 折りたたんだ状態

6.まとめ

当所がこれまで行ってきた椅子座位での快適性を背景に、休息用座椅子を開発した。開発の課題として、背もたれリクライニング機構、快適な休息姿勢、足のむくみ対策、骨盤の安定、省スペース性を設定し、概ねこの条件に対応できるプロトタイプが開発できた。今後は販路の検討と製造コスト等の調整、製品の使用評価等を行う。なお、この開発は明光ホームテック株式会社との共同で行った。

参考文献

- 1) 藤巻吾朗：人間工学的手法による木製椅子の快適性評価と機能設計に関する研究（第 16 報）休息用椅子において推奨される角度条件の検討，岐阜県生活技術研究所研究報告，No.9, pp12-19, 2007
- 2) 藤巻吾朗：休息用プロトタイプ椅子の評価，岐阜県生活技術研究所研究報告，No.10, pp50-53, 2008

家具販売支援システムの研究開発（第3報） 木製椅子に関するユーザーニーズの分析と推定

成瀬哲哉*

Research for furniture business support systems (III) Analysis and estimation of user's needs for wooden chairs

Tetsuya NARUSE*

木製家具に関するユーザーニーズを分析するため、ベイズ理論を活用し、ユーザー属性(年齢、性別)と製品属性(製品写真等)から推定モデルを作成し、ユーザーが気にいると考えられる製品の推定モデルを作成した。

ユーザーの製品選択と一致率が高かった推定モデルは性別、年齢層、製品、色、座り心地、形状を項目に持つ単純なモデルであり、性別より、年齢の違いが、選択される製品の違いに影響を与えていることが推論された。

1. 研究の背景

岐阜県の木製脚物家具は品質の高さから国内シェアトップを維持しているが、需要減や低価格製品の輸入増などにより出荷額は最盛期の3割程度と落ち込んでおり販売現場では「製品をいかに売るか」という課題に直面している。

これらの課題を克服するために、サービス工学的手法を導入し木製椅子に対するユーザーニーズの分析とその活用に関する研究を開始し、平成23年度は、ユーザーニーズを取得する情報端末・アプリケーションを開発し、ショールーム等でのニーズ調査と分析により、木製椅子に対するニーズを年齢・性別により分類を行った。

平成24年度は、これらのデータをベイズ理論により分析を行った。ベイズ理論は、複数の属性値を基に関連性で判断し、類似したデータを推定する手法で、初期状態のデータが少なくても予測精度に影響が少ないと考えられている理論である。

本報告はベイズ理論により、ユーザー属性(年齢、性別)と製品属性(製品写真等)から推定モデルを作成し、ユーザーが気にいると考えられる製品を推定した。

2. 推定モデル作成準備

2.1 学習用データ

ユーザーニーズ推定モデルを作成するため、学習用データを作成した。学習用データは、平成23年度に、ミュージアム飛騨常設展示場「椅子の世界」にて行った、ユーザーニーズの取得実験¹⁾で得られたユーザー属性と、取得実験に用いた木製椅子64脚の製品属性から作成した。

2.2 ユーザー属性

平成23年度のユーザーニーズ取得実験の参加者241名を、男性(～30歳)、男性(31～45歳)、男性(45歳～60歳)、男性(60歳～)、女性(～30歳)、女性(31～45歳)、女性(45歳～60歳)、女性(60歳～)の8個のユーザー層に分類し、ユーザー属性とした。

表1に参加したユーザーの性別と年齢による分類を示す。

表1 性別と年齢による分類

	男性	女性	無回答
～30 才	50	29	0
31～45 才	66	42	0
46～60 才	26	17	0
61 才	5	1	0
無回答	0	3	2
計	147	92	2

* 試験研究部

2.3 製品属性

平成23年度のユーザーニーズ取得実験に用いた木製椅子64脚に関して、製品名、メーカー、デザイナー、樹種、画像データ、ユーザーに色、形状、座り心地に関する評価データ(ユーザー属性と関連する部分)を製品属性とした。

画像データは、製品情報提示アプリケーション(UsaReco)に用いた製品画像のバックグラウンドを削除し、32bitカラーを4bitカラーに変換した後、画像に含まれる色(RGB値)のピクセル数から製品画像に占める割合として算出した。

表2に画像データの分析例を示す。

表2 画像データのRGB値(例)

	RGB 値	画像に占める割合 (%)
	#4C3124	2.4
	#725451	1.5
	#774C28	3.7
	#967155	3.2
	#9C5924	7.3
	#A7181C	8.6
	#B26E31	15.1
	#B48D6E	1.3
	#D8964B	15.6
	#DA2D32	29.8
	#DAB59A	0.3
	#DCD5D7	0.1
	#E0A76A	5.0
	#F7BF74	4.8
	#F9D69C	1.2

2.4 作成した学習用データ

ユーザー属性と製品属性から作成した学習用データは638行×22列の行列となった。なお、画像データは占める比率の高い方から3色を代表色として使用している。

3. 推定モデルの作成

3.1 推定モデルの作成方法

ユーザーニーズの推定モデルの作成とデータの推定のため、ベイジアンネットワーク構築支援ソフトウェアであるBAYONET5.0(株式会社 数理システム)を用いた。学習データのユーザー属性、製品属性の各項目をノードとし、各ノードが親を持つかどうか、また親候補とするノードがあるかどうか設定し、3種類のモデルの構造学習を行い、モデルの構築を行った。

3.2 単純なモデル

平成23年度のニーズ分析に用いた項目(性別、年齢層、色、座り心地、形状、製品名)をユーザー属性、製品属性として学習データを作成した。性別、年齢層はユーザ独自のノードであると考え、親ノード候補を無しとした。また、製品はユーザによって選択されることから、製品の必須親ノードとして性別と年齢層を設定し構造学習を行った。表3にノードの設定値を、図1に推定モデルを示す。

表3 単純なモデルのノード設定値

ノード	親候補	必須親候補
性別	無し	
年齢層	無し	
色	性別、年齢層、座り心地、形状	
座り心地	性別、年齢層、色、形状、	
形状	性別、年齢層、色、座り心地	
製品	色、座り心地、形状	性別、年齢層

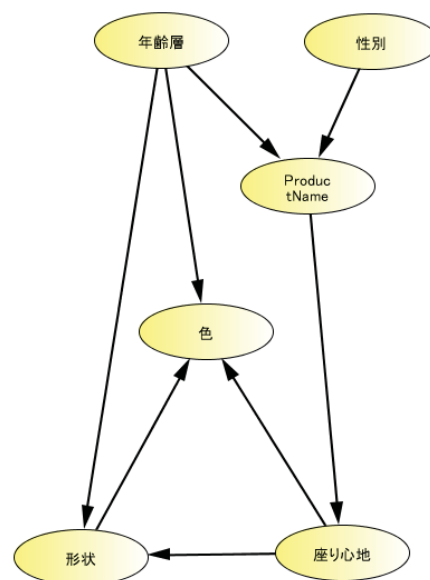


図1 単純なモデルの推定モデル

3.3 やや複雑なモデル

単純なモデルに製品属性としてメーカー、デザイナー、樹種のデータを追加し、学習データを作成した。性別、年齢層はユーザ独自のノードであると考え、親ノード候補を無しとした。また、製品はメーカーによって製造され、ユーザによって選択されることから、製品の必須親ノードとしてメーカー、性別、年齢層を設定し構造学習を行った。表4にノードの設定値を、図2に推定モデルを示す。

表4 やや複雑なモデルのノード設定値

ノード	親候補	必須親候補
性別	無し	
年齢層	無し	
色	性別、年齢層、座り心地、形状、製品名、メーカー、デザイナー、樹種	
座り心地	性別、年齢層、色、形状、製品名、メーカー、デザイナー、樹種	
形状	性別、年齢層、色、座り心地、製品名、メーカー、デザイナー、樹種	
製品名	色、座り心地、形状、デザイナー、樹種	性別、年齢層、メーカー
メーカー	性別、年齢層、色、座り心地、形状、製品名、デザイナー、樹種	
デザイナー	性別、年齢層、色、座り心地、形状、製品名、メーカー、樹種	
樹種	性別、年齢層、色、座り心地、形状、製品名、メーカー、デザイナー	

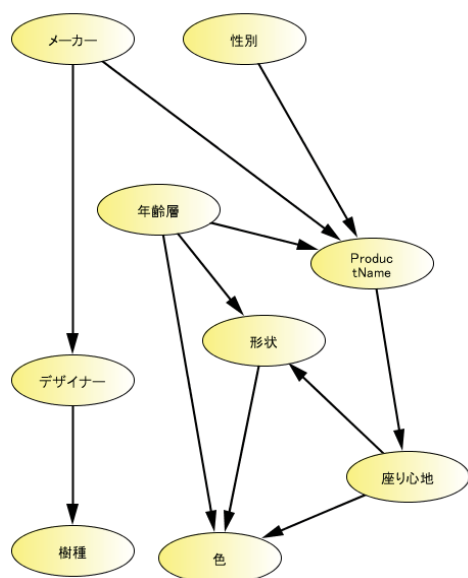


図2 やや複雑なモデルの推定モデル

3.4 複雑なモデル

単純なモデルに製品属性として、画像の分析データを追加して学習データを作成した。性別、年齢層はユーザ独自のノードであると考え、親ノード候補を無しとした。製品はユーザによって選択されることから、製品の必須親ノードとして性別、年齢層を設定した。また、画像データは製品の色データであるので、色の割合を同様に必須親ノードとして設定し、構造学習を行った。表5にノードの設定値を、図3に推定モデルを、図3に推定モデルを示す。

表5 複雑なモデルのノード設定値

ノード	親候補	必須親候補
性別	無し	
年齢層	無し	
色	性別、年齢層、座り心地、形状、製品名、色の割合(第1位)、R値(第1位)、G値(第1位)、B値(第1位)、色の割合(第2位)、R値(第2位)、G値(第2位)、B値(第2位)、色の割合(第3位)、R値(第3位)、G値(第3位)、B値(第3位)	
座り心地	性別、年齢層、色、形状、製品名、色の割合(第1位)、R値(第1位)、G値(第1位)、B値(第1位)、色の割合(第2位)、R値(第2位)、G値(第2位)、B値(第2位)、色の割合(第3位)、R値(第3位)、G値(第3位)、B値(第3位)	
形状	性別、年齢層、色、座り心地、製品名、色の割合(第1位)、R値(第1位)、G値(第1位)、B値(第1位)、色の割合(第2位)、R値(第2位)、G値(第2位)、B値(第2位)、色の割合(第3位)、R値(第3位)、G値(第3位)、B値(第3位)	
製品名	色、座り心地、形状、製品名、R値(第1位)、G値(第1位)、B値(第1位)、R値(第2位)、G値(第2位)、B値(第2位)、R値(第3位)、G値(第3位)、B値(第3位)	性別、年齢層、色の割合(第1位)、色の割合(第2位)、色の割合(第3位)
色の割合(第1位)	性別、年齢層、色、座り心地、形状、製品名、色の割合(第2位)、R値(第2位)、G値(第2位)、B値(第2位)、色の割合(第3位)、R値(第3位)、G値(第3位)、B値(第3位)	R値(第1位)、G値(第1位)、B値(第1位)
R値(第1位)	無し	
G値(第1位)	無し	
B値(第1位)	無し	
色の割合(第2位)	性別、年齢層、色、座り心地、形状、製品名、色の割合(第1位)、R値(第1位)、G値(第1位)、B値(第1位)、色の割合(第3位)、R値(第3位)、G値(第3位)、B値(第3位)	R値(第2位)、G値(第2位)、B値(第2位)
R値(第2位)	無し	
G値(第2位)	無し	
B値(第2位)	無し	
色の割合(第3位)	性別、年齢層、色、座り心地、形状、製品名、色の割合(第1位)、R値(第1位)、G値(第1位)、B値(第1位)、色の割合(第2位)、R値(第2位)、G値(第2位)、B値(第2位)	R値(第3位)、G値(第3位)、B値(第3位)
R値(第3位)	無し	
G値(第3位)	無し	
B値(第3位)	無し	

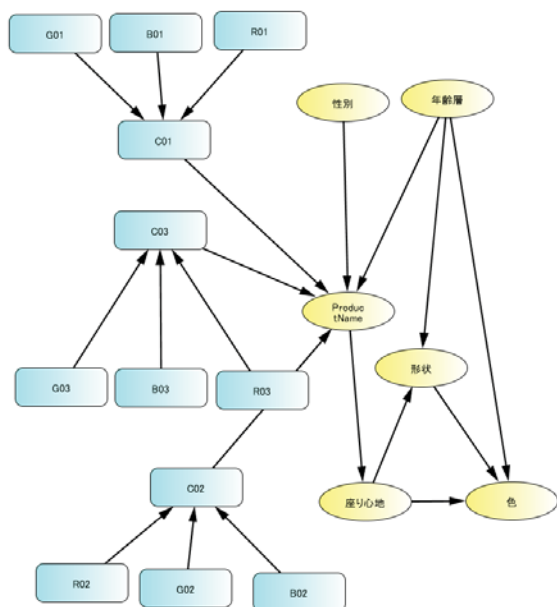


図3 複雑なモデルの推定モデル

4. 推論モデルに関する考察

各推定モデルを用いて、性別及び年齢層から好まれると考えられる製品の確率を推定した。

文末付録に男性と年齢層(表6)、女性と年齢層により推論結果(表7)を、ユーザーから好まれる可能性が高いと推論された順に並び変えたものを示す。

この表から、男女ともに単純なモデルが実際の選択行動と一致率が高いことが読み取れる。

これは、単純なモデルに追加された要素(メーカー、デザイナー、樹種、画像の分析データ)の影響より、製品の選択行動と結びつきの強い、製品評価項目が大きな影響を与えていると考えられる。

また、構造学習された、各モデルから、評価項目(ノード)とは、ユーザーの性別より、年齢の違いが、選択される製品の違いに現れていると考えられる。

5. 推論モデルの妥当性評価

推論モデルの妥当性評価のため、学習用データとは異なるデータとの比較を行った。

比較用データは、平成23年度にユーザーニーズの取得実験で用いた木製椅子64脚の見た目の印象に関して、新たにアンケート用紙による調査を行った。被験者は64脚の中からランダムに抽出された32脚の中から、自身が気に入った椅子に関して、気に入った理由(形状、色、その他：複数回答可)を回答する方式を用いた。

被験者は信州大学繊維学部感性工学課程の学生139人(男性79人、女性60人、平均年齢20.3歳)であった。



図4 アンケート用紙

このアンケートデータの年齢層を30歳未満とし、座り心地の評価を欠損値として扱い、通常の実験行動と一致率の高と考えられる推定モデルを用いて推論し、好まれ順位の差を比較した。結果を図5に示す。

差が10位以内の製品は男性が21製品、女性が23製品であるが、約半数の製品が30以上離れているという結果となった。

これは、推定モデルが、年齢の違いが製品選択に影響を与えるモデルであるためと考えられる。

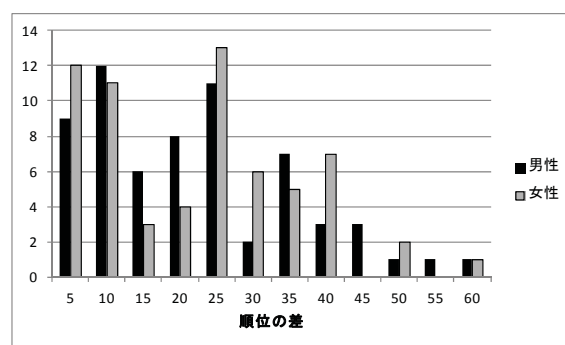


図5 順位の差

6. まとめ

木製家具に関するユーザーニーズを分析するため、ベイズ理論を活用し、ユーザーが気に入っていると考えられる製品の推定モデルを作成した。

ユーザーの製品選択と一致率が高かった推定モデルは性別、年齢層、製品、色、座り心地、形状を項目に持つ単純なモデルであり、性別より、年齢の違いが、選択される製品の違いに影響を与えていることが推論された。

参考文献

- 1) 成瀬哲哉他、岐阜県生活技術研究所研究報告、No. 14、pp. 29-35、2012

表 6 推論結果比較(男性)

基データ(男性)		単純なモデル		やや複雑なモデル		複雑なモデル	
椅子番号	実際の 選択率	椅子番号	推論された 確率	椅子番号	推論された 確率	椅子番号	推論された 確率
01	6.80%	01	4.79%	01	3.12%	01	1.63%
02	5.83%	02	4.19%	03	2.54%	02	1.62%
03	4.85%	03	3.59%	02	2.49%	03	1.60%
04	3.88%	04	2.99%	04	2.33%	04	1.60%
05	3.88%	05	2.99%	08	2.07%	05	1.59%
06	2.91%	06	2.40%	12	2.07%	13	1.59%
07	2.91%	07	2.40%	07	2.04%	07	1.58%
08	2.91%	08	2.40%	09	2.04%	06	1.58%
09	2.91%	09	2.40%	11	2.04%	09	1.58%
10	2.91%	10	2.40%	13	2.04%	10	1.58%
11	2.91%	11	2.40%	06	1.88%	08	1.58%
12	2.91%	12	2.40%	15	1.88%	16	1.58%
13	2.91%	13	2.40%	17	1.80%	15	1.58%
14	2.91%	14	2.40%	18	1.80%	12	1.58%
15	2.91%	15	2.40%	20	1.78%	14	1.57%
16	2.91%	16	2.40%	21	1.78%	30	1.57%
17	1.94%	17	1.80%	28	1.78%	11	1.57%
18	1.94%	18	1.80%	05	1.56%	19	1.57%
19	1.94%	19	1.80%	35	1.54%	28	1.57%
20	1.94%	20	1.80%	36	1.54%	24	1.57%
21	1.94%	21	1.80%	37	1.54%	18	1.57%
22	1.94%	22	1.80%	31	1.53%	29	1.57%
23	1.94%	23	1.80%	34	1.53%	26	1.57%
24	1.94%	24	1.80%	38	1.53%	27	1.57%
25	1.94%	25	1.80%	39	1.53%	23	1.57%
26	1.94%	26	1.80%	27	1.52%	25	1.57%
27	1.94%	27	1.80%	30	1.52%	17	1.56%
28	1.94%	28	1.80%	40	1.48%	20	1.56%
29	1.94%	29	1.80%	10	1.44%	22	1.56%
30	1.94%	30	1.80%	19	1.44%	21	1.56%
31	0.97%	31	1.20%	29	1.44%	33	1.56%
32	0.97%	32	1.20%	26	1.42%	39	1.56%
33	0.97%	33	1.20%	25	1.42%	44	1.56%
34	0.97%	34	1.20%	16	1.41%	42	1.56%
35	0.97%	35	1.20%	14	1.41%	35	1.56%
36	0.97%	36	1.20%	46	1.40%	31	1.56%
37	0.97%	37	1.20%	23	1.39%	32	1.56%
38	0.97%	38	1.20%	22	1.37%	36	1.56%
39	0.97%	39	1.20%	24	1.37%	34	1.56%
40	0.97%	40	1.20%	42	1.36%	41	1.56%
41	0.97%	41	1.20%	43	1.36%	45	1.55%
42	0.97%	42	1.20%	41	1.32%	46	1.55%
43	0.97%	43	1.20%	44	1.32%	40	1.55%
44	0.97%	44	1.20%	32	1.32%	38	1.55%
45	0.97%	45	1.20%	45	1.32%	43	1.55%
46	0.97%	46	1.20%	33	1.29%	37	1.55%
47	0.00%	47	0.60%	47	1.27%	47	1.54%
48	0.00%	48	0.60%	48	1.27%	48	1.54%
49	0.00%	49	0.60%	49	1.27%	49	1.54%
50	0.00%	50	0.60%	50	1.27%	50	1.54%
51	0.00%	51	0.60%	51	1.27%	51	1.54%
52	0.00%	52	0.60%	52	1.27%	52	1.54%
53	0.00%	53	0.60%	53	1.27%	53	1.54%
54	0.00%	54	0.60%	54	1.27%	54	1.54%
55	0.00%	55	0.60%	55	1.27%	55	1.54%
56	0.00%	56	0.60%	56	1.27%	56	1.54%
57	0.00%	57	0.60%	57	1.27%	57	1.54%
58	0.00%	58	0.60%	58	1.27%	58	1.54%
59	0.00%	59	0.60%	59	1.27%	59	1.54%
60	0.00%	60	0.60%	60	1.27%	60	1.54%
61	0.00%	61	0.60%	61	1.27%	61	1.54%
62	0.00%	62	0.60%	62	1.27%	62	1.54%
63	0.00%	63	0.60%	63	1.27%	63	1.54%
64	0.00%	64	0.60%	64	1.27%	64	1.54%

表 7 推論結果比較(女性)

基データ(女性)		単純なモデル		やや複雑なモデル		複雑なモデル	
椅子番号	実際の 選択率	椅子番号	推論された 確率	椅子番号	推論された 確率	椅子番号	推論された 確率
02	7.77%	02	5.39%	02	2.81%	02	1.64%
18	5.83%	18	4.19%	18	2.79%	18	1.62%
20	5.83%	20	4.19%	20	2.76%	06	1.61%
06	4.85%	06	3.59%	04	2.53%	04	1.61%
04	4.85%	04	3.59%	17	2.28%	20	1.60%
03	3.88%	03	2.99%	01	2.28%	01	1.59%
17	3.88%	17	2.99%	03	2.26%	17	1.59%
01	3.88%	01	2.99%	06	2.23%	03	1.59%
48	2.91%	48	2.40%	48	2.01%	09	1.58%
09	2.91%	09	2.40%	09	2.01%	48	1.58%
10	2.91%	10	2.40%	11	2.01%	10	1.58%
11	2.91%	11	2.40%	15	1.84%	26	1.58%
26	2.91%	26	2.40%	08	1.77%	15	1.58%
15	2.91%	15	2.40%	35	1.77%	13	1.57%
31	1.94%	31	1.80%	52	1.77%	11	1.57%
08	1.94%	08	1.80%	31	1.76%	55	1.57%
35	1.94%	35	1.80%	13	1.76%	61	1.57%
52	1.94%	52	1.80%	36	1.51%	08	1.57%
13	1.94%	13	1.80%	12	1.51%	31	1.57%
55	1.94%	55	1.80%	07	1.51%	35	1.57%
22	1.94%	22	1.80%	34	1.51%	57	1.57%
57	1.94%	57	1.80%	39	1.51%	45	1.57%
61	1.94%	61	1.80%	21	1.51%	25	1.57%
62	1.94%	62	1.80%	28	1.51%	52	1.57%
25	1.94%	25	1.80%	61	1.49%	62	1.56%
45	1.94%	45	1.80%	62	1.49%	22	1.56%
07	0.97%	07	1.20%	26	1.47%	30	1.56%
32	0.97%	32	1.20%	10	1.43%	19	1.56%
34	0.97%	34	1.20%	55	1.42%	07	1.56%
19	0.97%	19	1.20%	25	1.40%	39	1.56%
36	0.97%	36	1.20%	57	1.40%	28	1.56%
39	0.97%	39	1.20%	59	1.37%	16	1.56%
12	0.97%	12	1.20%	60	1.37%	36	1.56%
21	0.97%	21	1.20%	27	1.37%	56	1.56%
56	0.97%	56	1.20%	30	1.37%	34	1.56%
42	0.97%	42	1.20%	46	1.37%	32	1.56%
59	0.97%	59	1.20%	22	1.36%	63	1.56%
60	0.97%	60	1.20%	45	1.35%	27	1.56%
63	0.97%	63	1.20%	19	1.34%	60	1.56%
14	0.97%	14	1.20%	42	1.34%	42	1.56%
27	0.97%	27	1.20%	56	1.33%	46	1.56%
28	0.97%	28	1.20%	63	1.31%	59	1.55%
16	0.97%	16	1.20%	16	1.31%	12	1.55%
30	0.97%	30	1.20%	32	1.30%	21	1.55%
46	0.97%	46	1.20%	14	1.30%	14	1.55%
47	0.00%	47	0.60%	47	1.26%	47	1.54%
49	0.00%	49	0.60%	49	1.26%	49	1.54%
50	0.00%	50	0.60%	50	1.26%	50	1.54%
51	0.00%	51	0.60%	51	1.26%	51	1.54%
33	0.00%	33	0.60%	33	1.26%	33	1.54%
53	0.00%	53	0.60%	53	1.26%	53	1.54%
37	0.00%	37	0.60%	37	1.26%	37	1.54%
54	0.00%	54	0.60%	54	1.26%	54	1.54%
38	0.00%	38	0.60%	38	1.26%	38	1.54%
40	0.00%	40	0.60%	40	1.26%	40	1.54%
41	0.00%	41	0.60%	41	1.26%	41	1.54%
05	0.00%	05	0.60%	05	1.26%	05	1.54%
23	0.00%	23	0.60%	23	1.26%	23	1.54%
58	0.00%	58	0.60%	58	1.26%	58	1.54%
24	0.00%	24	0.60%	24	1.26%	24	1.54%
43	0.00%	43	0.60%	43	1.26%	43	1.54%
44	0.00%	44	0.60%	44	1.26%	44	1.54%
64	0.00%	64	0.60%	64	1.26%	64	1.54%
29	0.00%	29	0.60%	29	1.26%	29	1.54%