

人間・生活者視点による人にやさしい製品開発（第4報） 身体にかかる力と不快感

藤巻吾朗*

User-centered design: Development of a human-friendly product (IV)
Threshold of discomfort for vertical force applied to human body surface

Goroh FUJIMAKI*

椅子に座った時の身体にかかる力と不快感の関係を把握するための調査を行った。調査結果より、不快の感覚が検知できるかできないかの力は人や接触面積により異なるが、不快を感じる力の身体の部位間での相対的な関係は、人や接触面積に関わらず同様の傾向を示した。また、坐骨結節部において不快を感じる力と体格（BMI）との間に関連性が見られたことから、座る人の身長、体重からどの程度の力で不快を感じるかの推測が可能であると考えられた。ここで得られた知見は体圧分布の評価にも応用が可能と考えられ、従来は圧力を均等に分布させることに主眼が置かれていたのに対し、体格に応じた圧力の上限值を身体の部位ごとに提案することが可能となると考えられた。複合感覚である不快感について、ウェーバーの法則が成り立つと仮定した場合、実験結果より求めたウェーバー比は約 0.26 であった。

1. 緒言

着座姿勢や身体にかかる力とそれに伴う生体組織の変形や生理的な負担、心理的に感じる感覚は座り心地を科学的に分析する上で重要な要素である。ここでは、その中でも身体にかかる力と不快感（痛み）に着目した研究を行った。椅子に座ったときの身体にかかる力を把握する手法に体圧分布測定があるが、体圧分布による評価は、現状では複数の椅子での測定結果の比較や身体全体にかかる圧力のバランスをもとに、圧力の高い部分を低くし、身体全体を均等に支えることに主眼が置かれている。しかし、身体の部位により、骨の形状や構造、筋肉や脂肪の付き方が異なることから、身体の部位に応じて痛みの閾値は異なるのではないかと考えられる。そこで、本研究では椅子と身体が接触する背部、腰部、臀部、大腿部において、身体の解剖学的な特徴を考慮した複数の点をマーキングし、それぞれの点における力と不快感の関係を把握することを目的とした調査を行った。

2. 方法

2.1 実験概要

5名の男性被験者について、人体の解剖学的な特徴をもとに計38点をマーキングし（付録参照）、各点についてデジタルフォースゲージ（株式会社イマダ製）を用いて力を加えた。測定時には接触面に対して垂直方向に力を加え、被験者が「不快だが1時間は我慢できる（不快を感じ始める）」「不快で我慢できない」と感じた時の力（荷重）を記録した。なお、実験では、不快感は痛み、違和感、異物感と定義した。

2.2 測定条件

測定時は室内温度25℃～27℃、湿度40%～50%となるように調節し、測定前の約30分はその部屋に在室してもらった。測定は薄手のズボンとシャツを着用した状態で実施した。身体とフォースゲージとの接触面にはφ10mm、φ20mmの2種類の円形のものを用意し、付録に示した1番から24番までは、腹臥位姿勢（うつぶせ）、25番から37番までは立位で足置き台に右足を乗せた姿勢、38番については両者の姿勢で測定を行った。

* 試験研究部（シミュレーション研究室）

3. 結果と考察

3.1 不快を感じる力について

身体にかかった力の計測点ごとの平均値を図 1～図 4 に示す。不快（痛い）と感じる力の閾値は、人や接触面積により差があることが確認された。しかし、計測点間の力の相対的な関係は人や接触面積による影響を受けず、今回測定した全ての条件であまり違いは見られなかった。

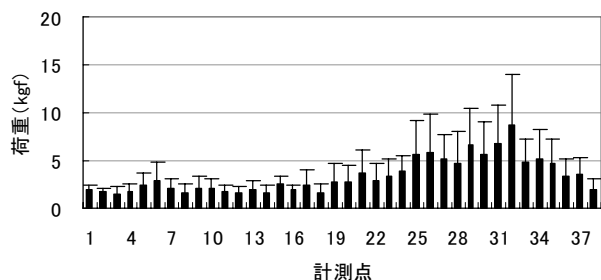


図 1 不快だが1時間は我慢できる（φ10mm）

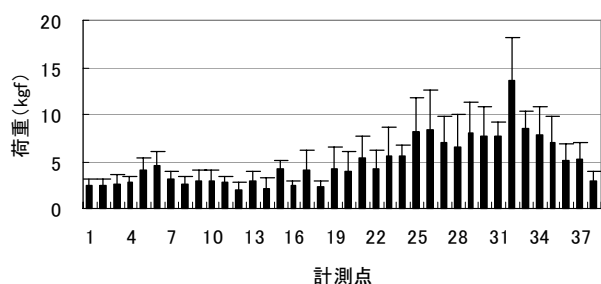


図 2 不快で我慢できない（φ10mm）

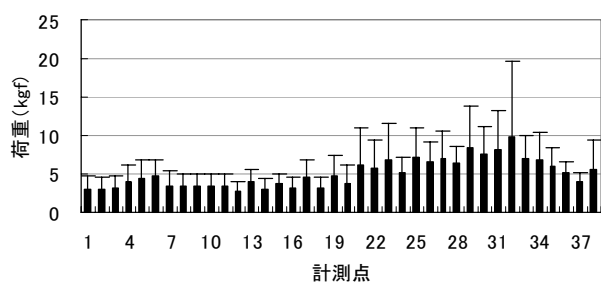


図 3 不快だが1時間は我慢できる（φ20mm）

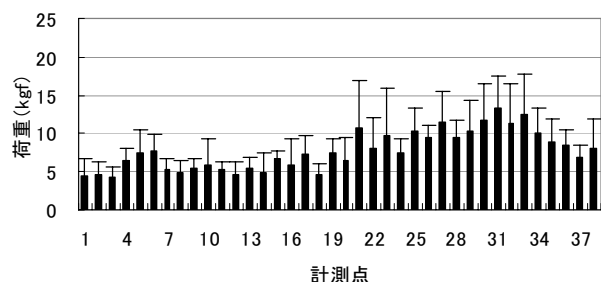


図 4 不快で我慢できない（φ20mm）

計測点間の力の相対的な関係を図 5 に示す。図 5 の黒丸は不快を感じた時の相対的な力の大きさを示し、薄い黒丸と濃い黒丸の差が大きいほど人や接触面積により力の大きさにばらつきがあることを示している。また、参考値として、坐骨結節部で不快を感じる力を100%とした時に、身体の他の部位で不快を感じる力を表したものを図 6 に示す。

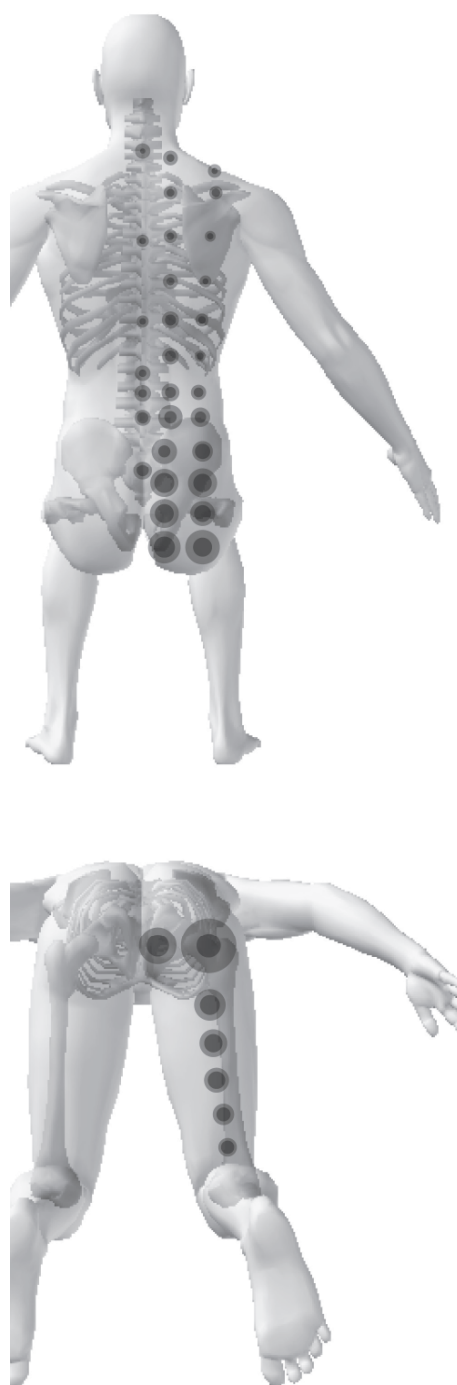


図 5 不快を感じる力の相対的な関係

3.2 体型との身体にかかる力の絶対値について

坐骨結節部において、不快を感じた時の力の体重に対する割合と体格指数であるBMI（体重[kg] ÷ 身長[m]²）の関係を図7に示す。

BMIの高い人に比べてBMIの低い人の方が坐骨結節部にかかる力が大きくても不快を感じない傾向があった。被験者数が少ないこともあり、両者の関係を明らかにすることはできなかったが、こ



図6 不快を感じない力の相対的な目安

の結果をもとに身長、体重から、坐骨結節部において不快を感じる力の参考値を求めることができると考えられる。

参考値算出の例として、日本人男性の標準的な体型である身長171.3cm、体重63.7kgの人に対してφ10mmで力を加えた場合を挙げると、BMIは21.7であるため、坐骨結節部で不快を感じる時にかかる力は体重の11.7%であり、約7.5kgfとなる。

今回の実験では、不快感を痛みや違和感と定義したが、痛みの閾値は変動しやすく、同じ人でも先入観（暗示）や精神状態などにより変化するということがわかっているため、算出した値はあくまでも参考値としての利用が望ましい。

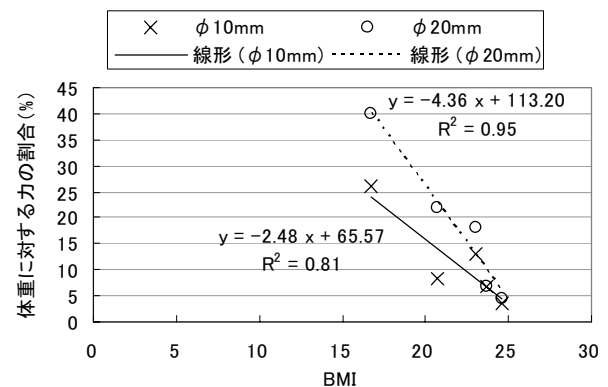


図7 BMIと坐骨結節部にかかる力の割合（不快だが1時間は我慢できる）

3.3 垂直力を加えた時の不快感について

図8は全ての測定条件の「不快だが1時間は我慢できる力」と「不快で我慢できない力」の関係を示したものである。椅子と身体の接触する部位において、垂直力を加えた時に不快を感じ始める力（不快だが1時間は我慢できる力）と不快で我慢できないと感じる力の相対的な関係は、被験者の体型や測定部位、接触面積に関わらず、ほぼ同じであった（図8）。

垂直力を加えた時の不快感について、ウェーバーの法則が成り立つと仮定した場合、実験結果より求めたウェーバー比は約0.26であった。すなわち10kgfで不快を感じた場合には12.6kgf、20kgfで不快を感じた場合には25.2kgfで我慢できないほど不快になることを示している。

これを応用することで、椅子のフィッティングなどの際に不快を感じた部位にかかっている力がわかれば、その不快の除去のためには具体的にどの程度まで力を下げると良いかを推測することが可能となる。これにより求めた値は図7に示した

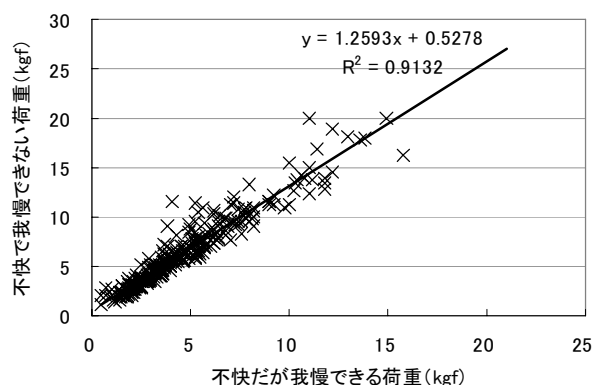


図 8 不快感の弁別閾

ような関係から求めた参考値に比べて精度が高いことが推察される。

4. まとめ

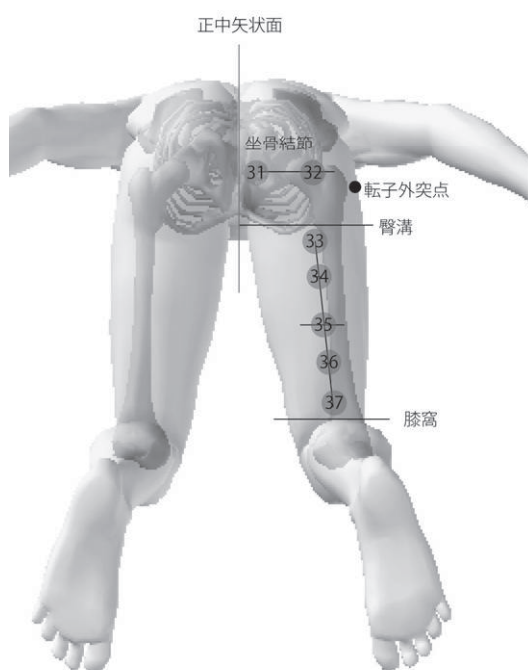
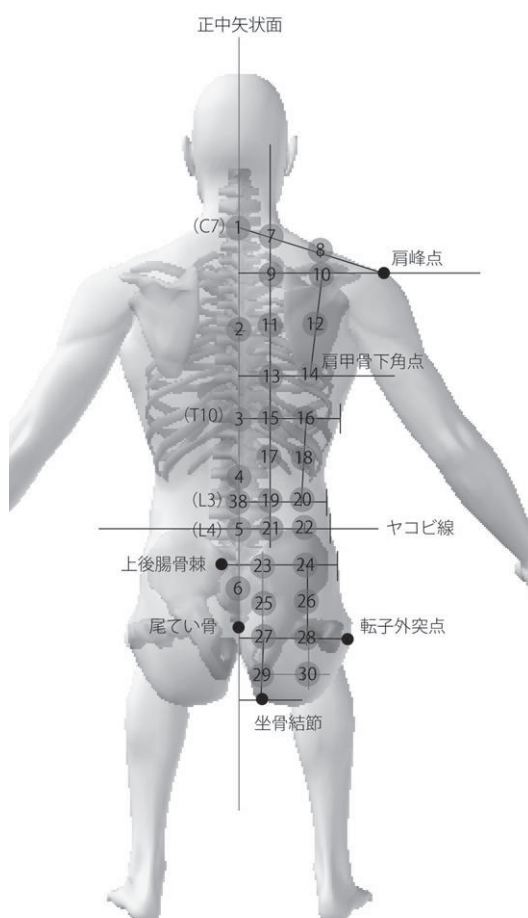
椅子に座った時の身体にかかる力と不快感の関係を把握するため、身体の解剖学的な特徴をもとに38点を選び、各点について不快を感じる時の力を調査した。調査結果より、不快の感覚が検知できるかできないかの力の絶対値（刺激域）は人や接触面積により異なるが、各測定条件内での測定部位間の相対的な関係は違いがみられなかった。そこで、坐骨結節部で不快を感じた時の力を基準に身体他の部位で不快を感じた時の力の割合を求め、それを参考値として呈示した。さらには、坐骨結節部での不快感の刺激域と体格との関係を求めた。これらの結果をもとにすることで、人が椅子に座った際に身体どの部位にどの程度の力が加わると不快を感じるかを推定することが可能

となり、その参考値を算出することが可能となった。

また、人や接触面積が違っていても、不快を感じた時の力の測定部位間での相対的關係は変わらないと考えられた。ここで得られた知見は体圧分布の評価にも応用でき、従来は圧力を均等に分布させることに主眼が置かれていたのに対し、人の体型に応じて、身体部位ごとの圧力の上限値を提案することが可能となると考えられた。しかし、ウェーバーの法則は、刺激強度の限定された範囲内でしか成立しないことがわかっており、知見を体圧分布による評価に応用する際には、普段座っている椅子の影響、点圧と面圧の違い、複数点に力がかかったときの知覚の問題などが課題として残る。今後はフィールドスタディ等を通して、今回得られた知見がどこまで転用可能であるかを検証する必要がある。

参考文献

- 1) 本郷利憲, 廣重力, 豊田純一, 監修: 標準生理学, 第6版, 医学書院, 2005.
- 2) 真島英信著: 生理学, 改訂18版, 文光堂, 1986.
- 3) 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.
- 4) Ebe, K., Griffin, M.J., Factors affecting static seat cushion comfort, *Ergonomics*, 44, 10, 901-921, 2001.
- 5) Park, S.J., Kim, C.B., the evaluation of seating comfort by objective measures, SAE Technical Paper Series 970595, 1997.



計測点の定義

- 1 頸椎点を触診 (C7)
- 2 1 と 3 の中間点
- 3 胸骨下点の真裏 (T10)
- 4 3 と 5 の中間点
- 5 ヤコビ線上の腰椎 (L4)
- 6 左右上後腸骨棘の中間点と尾てい骨の中間点
- 7 1 と肩峰点を結んだ直線上の脊柱から 2 横指 (30mm) 外側
- 8 7 と肩峰点の中間点
- 9 肩峰点から脊柱への垂線上の脊柱から 2 横指 (30mm) 外側
- 10 9 と肩峰点の中間点
- 11 脊柱から 2 横指 (30mm) 外側
- 12 10 と 14 の中間点
- 13 肩甲骨下角から脊柱への垂線上の脊柱から 2 横指 (30mm) 外側
- 14 肩甲骨下角
- 15 3 での脊椎の垂線上の脊柱から 2 横指 (30mm) 外側
- 16 3 での脊椎の垂線上の幅の最大位と 15 との中間点
- 17 15 と 19 の中間点
- 18 16 と 20 の中間点
- 19 38 での脊椎の垂線上の脊柱から 2 横指 (30mm) 外側
- 20 38 での脊椎の垂線上の幅の最大位と 19 との中間点
- 21 5 での脊椎の垂線上の脊柱から 2 横指 (30mm) 外側
- 22 5 での脊椎の垂線上の幅の最大位と 21 との中間点
- 23 上後腸骨棘
- 24 左右上後腸骨棘を結んだ直線上の幅の最大位と 23 との中間点
- 25 23 と 27 の中間点
- 26 24 と 28 の中間点
- 27 23 の鉛直線と転子外突点の水平線との交点
- 28 転子外突点での水平線上の幅の最大位と 27 との中間点
- 29 27 と 31 の中間点
- 30 29 の水平線と 28 の鉛直線との交点
- 31 坐骨結節 (座位でマーキング)
- 32 31 をとおる前頭面と 28 をとおる矢状面との臀部表面での交点
- 33 臀溝の 30mm 下の水平線上 (立位でマーキング) の足挙上姿勢での最下点
- 34 33 と 35 の中間点
- 35 33 と 37 の中間点
- 36 35 と 37 の中間点
- 37 膝窩中央部より臀部方向へ 30mm
- 38 L4 から触診 (L3)

人間・生活者視点による人にやさしい製品開発（第5報） ソファの設計指針に関する研究（1）

成瀬哲哉*、藤巻吾朗*

User-centered design: Development of a human-friendly product (V) Research on design of sofa (I)

Tetsuya NARUSE* and Goroh FUJIMAKI *

ソファは一般的なダイニングチェア・休息用椅子と比較してウレタンフォームやバネといった多種多様な弾性素材により構成され、着座時には大きく変形して人体を支えるといった特徴がある。そのため、外形寸法や形状だけでなく弾性素材の特性を加味した設計指針の導出が不可欠である。そこで本研究では、ソファの角度条件、ソファに使用されるウレタンフォームの組み合わせ、着座姿勢に着目し、被験者に平板椅子(角度条件評価用)、基準ソファ(比較用)、修正ソファ(ソファに適したウレタンフォームの組み合わせ・構成を選択)の3種類の椅子・ソファに関して座り心地評価実験を行い、ソファの設計指針に関する知見の導出を目指した。その結果、「ソファの角度条件として、休息用椅子の設計指針が活用可能であること」「被験者が好むウレタンフォームの構成は、背面は1種類、座面は3種類の傾向があると考えられること」「基準ソファと比較して沈み込みが少なく、座面側で体を支えるようなウレタンフォームの組み合わせを好む傾向があること」がわかった。

1. 緒言

当所が位置する飛騨・高山地域は古くから木製家具産業が盛んな地域である。

平成14年度より人間工学的手法を用いた木製椅子の研究成果として、ダイニングチェア・休息用椅子に関する様々な設計指針の導出と提案を行っており、本年度よりソファの設計指針に関する研究に着手した。

ソファは一般的なダイニングチェア・休息用椅子と比較してウレタンフォームやバネといった多種多様な弾性素材により構成され、着座時には大きく変形して人体を支えるといった特徴がある。そのため、外形寸法や形状だけでなく弾性素材の特性を加味した設計指針の導出が不可欠である。

そこで本研究では、被験者にソファに適したウレタンフォームの組み合わせ・構成を選択し座り心地を評価し解析することでソファの設計指針に関する知見の導出を目指した。

2. 実験方法

2.1 実験準備

ソファに適した外形寸法、形状、弾性素材の組み合わせを検討するため、寸法・形状のベースとして、ソファと使用用途が近いと考えられる、当所研究成果「休息用椅子の設計指針」を活用し、

- ・ 座角度10度
- ・ 背座角度差110度
- ・ 座面前後長400mm
- ・ 背もたれ高さ500mm

とした。

また、座面高さは足置き台にて被験者にあわせて調整することとした。

次に、本実験で使用したウレタンフォームを表1に示す。

表1. 実験に使用したウレタンフォーム

	特徴
ウレタン 1	軽いタッチのウレタンフォーム
ウレタン 2	通常ウレタンフォーム
ウレタン 3	ラバーライク高反発弾性(柔らかい)
ウレタン 4	一般品より硬度が高いウレタンフォーム
ウレタン 5	チップウレタン

* 試験研究部（シミュレーション研究室）

これらのウレタンフォームは実際に地元家具産業でソファの構成材として一般的に使用されているものであり、入手も容易であることから硬度、反発性など物理的性質を考慮して選択した。

2.2 検討項目

- (1) 休息用椅子の設計指針は休息時の安定姿勢を基にした形状・寸法値であるがソファの角度条件として活用可能か
- (2) 被験者がどのようなウレタンフォームの組み合わせ・構成を好むか
- (3) ウレタンフォームの組み合わせで、どのような姿勢・座り心地になるように修正するか

2.3 測定項目

前項の検討項目を基に以下の測定項目を決定した。

- ・ 立位および座位姿勢および身体データ計測
姿勢比較のため、特徴点(計10点)を着衣上からマーキングし側面から写真にて記録した。図1にマーキング箇所を示す。

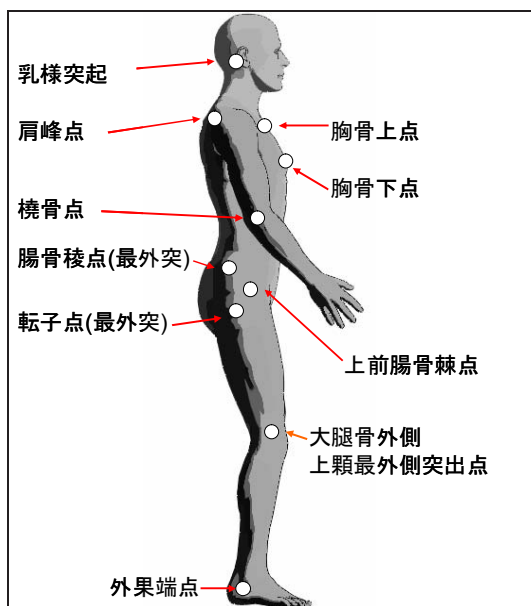


図1. マーキングを行った身体特徴点

マーキング座標を同定するため25cm×25cmグリッドを配置し被験者と同時に撮影を行った。写真撮影後に画像処理ソフトウェアでグリッドを重ね合わせマーキング座標の同定および姿勢(体の傾き)を算出した。

図2に角度測定概念図を示す。

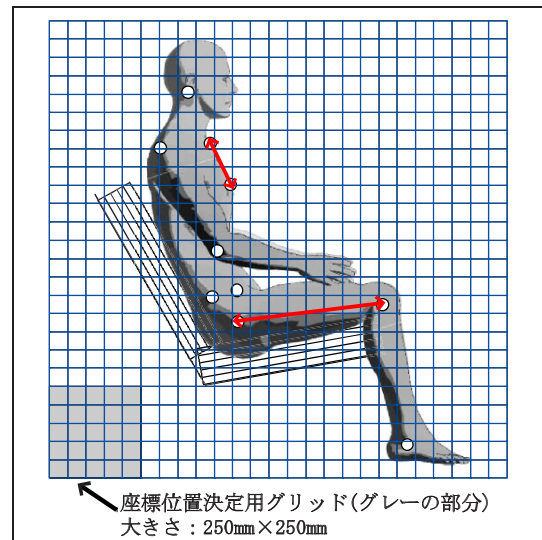


図2. 角度測定概念図

・ 着座時の体圧分布測定条件

体圧分布測定センサー(XSENSOR)を使用し基準ソファおよび修正ソファの体圧分布測定を行った。

体圧分布測定センサーの大きさは144セル×48セルの1枚のセンサーシートでセンサーセルの大きさは0.5inch×0.5inchである。

実験椅子のサイズは座面奥行き40cm、背面高さが50cmであるので、この実験椅子の座面前縁とXSENSORの短辺側が一致するように設置したばあいセンサー上では前縁から32セル分(0.5inch×32セル≒40cm)が座面の体圧測定結果、33セル以降の40セル分を背面の体圧測定結果となる。

図3に体圧分布測定条件を示す。

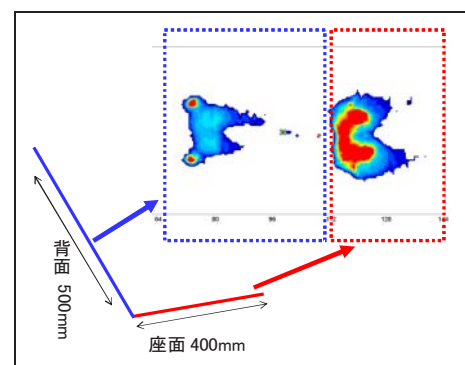


図3. 体圧分布測定条件

2.4 官能評価

2.4.1 角度条件評価項目

背面の傾きに関して

1. 倒れている
2. やや倒れている
3. ちょうどよい
4. やや起きている
5. 起きている

2.4.2 座面の傾きに関して

1. 後傾 2. やや後傾
3. ちょうどよい
4. やや前傾 5. 前傾

2.4.3 座り心地評価部位

①背面胸部 ②背面腰部 ③背面臀部

(I)座面大腿部 (II)座面臀部

評価部位を図4に示す。

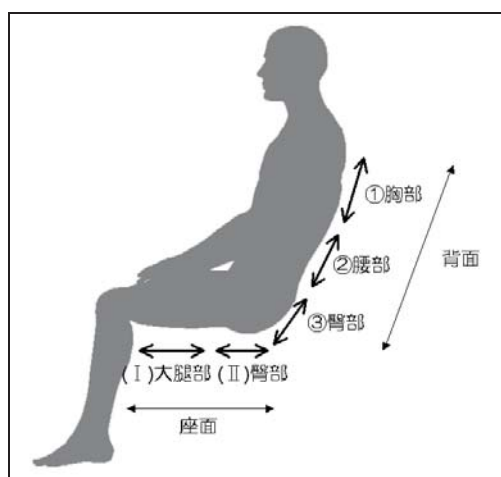


図4. 評価部位

2.4.5 座り心地評価項目

座面、背面に関して前述の5つの評価部位に関して、座った時の感じる印象を評価カテゴリーから、【感覚の種類】と【感覚の強さ】の組み合わせを記入（複数回答可）

感覚の種類

- | | |
|--------------|-------------|
| A. 硬い感じ | H. 底に着く感じ |
| B. 柔らかい感じ | I. 包み込まれる感じ |
| C. 深く沈みこむ感じ | J. 蒸れる感じ |
| D. 食い込む感じ | K. 冷たい感じ |
| E. コツンと当たる感じ | L. 不快な当たり |
| F. 跳ね返る感じ | M. 心地よい当たり |
| G. 締め付ける感じ | N. その他() |

感覚の強さ

- | | |
|----------|------------|
| 1. 感じない | 2. かすかに感じる |
| 3. やや感じる | |
| 4. 感じる | 5. 強く感じる |

2.4.6 総合評価項目

1. 良い 2. やや良い
3. 普通
4. やや悪い 5. 悪い

2.5 実験条件

以下に述べる3種類の着座条件に関して評価を行った。なお、被験者には「ソファとして使用した場合の評価」と教示し、着座姿勢は被験者の自由姿勢とした。

また、座面高は被験者に合わせて足置きを用いて調整した。

2.5.1 実験条件①：座面・背面ともに平板合板

座角度10度、背座角度差110度の実験椅子。形状寸法を図5に示す。

・評価項目

座面・背面の角度条件の評価

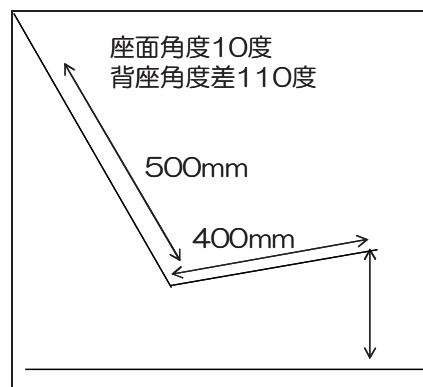


図5. 平板合板椅子

2.5.2 実験条件②：基準ソファ

座面・背面ともに通常ウレタンフォーム（試験体名：ウレタン2）20mm×5枚=100mmで構成された基準ソファ。形状寸法を図6に示す。

・評価項目

座面・背面の角度条件の評価

座面背面の感覚評価

座り心地の総合評価

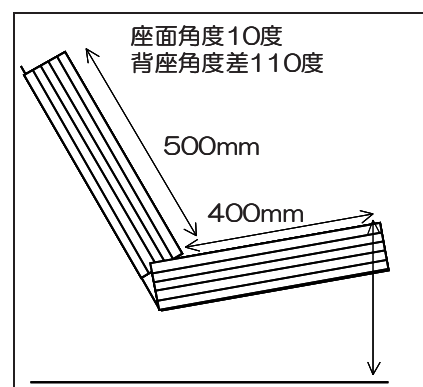


図6. 基準ソファ

2.5.3 実験条件③：修正ソファ

被験者が自身の好みに合わせて選定するよう教示し、座面・背面ともに20mm×5枚=100mmのウレタンフォームにより構成された修正ソファ。形状寸法を図7に示す。

・評価項目

座面・背面の角度条件の評価

座面背面の感覚評価

座り心地の総合評価

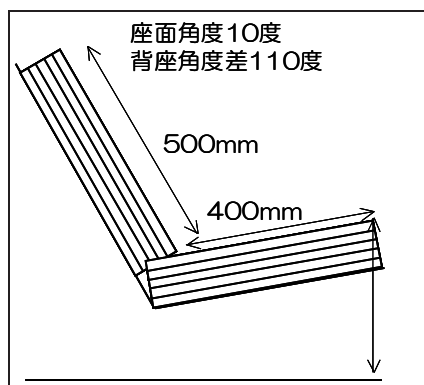


図7. 修正ソファ

3. 結果と考察

被験者は健康な成人男性計21名。被験者の年齢、身長、体重の基本統計量を表2に示す。

表2. 被験者データ

	平均	標準偏差	最小	最大
年齢(才)	37.5	9.6	26	59
身長(cm)	172.0	7.1	157	185
体重(kg)	66.9	11.5	56	106

3.1 角度評価と姿勢

図8に立位・座位の実験風景を示す。

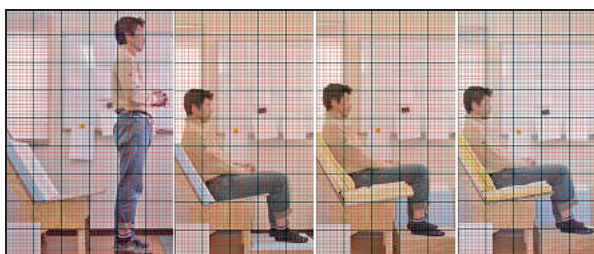


図8. 実験風景

計測した姿勢角度から、背面角度と関係があると考えられる胸郭(上縁一下縁)角度、座面の傾きと関係があると考えられる大腿部(大転子-大腿骨外側上顆最外側突出点:膝)角度に関して考察す

る。

計測した角度は立位を基準に、平板合板椅子、基準ソファ、修正ソファに着座した時の変化を算出し、負の値が大きいほど立位と比較して人体後方・下方に倒れている

図9に背面角度の評価結果、図10に胸郭上縁-下縁の評価結果を示す。

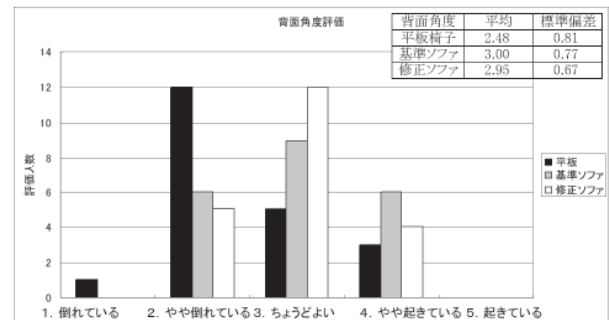


図9. 背面角度の評価

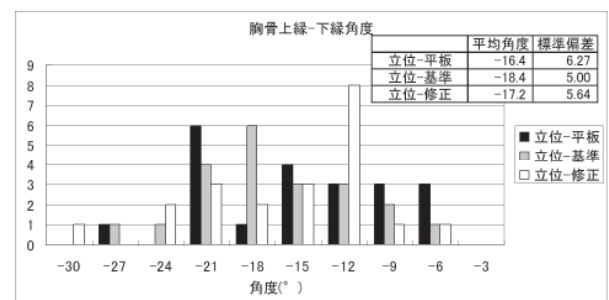


図10. 胸郭(上縁一下縁)角度

背面の評価に関して平板合板椅子は「やや倒れている」評価が多いが修正ソファでは「ちょうど良い」評価が多くなる。これより被験者はウレタンフォームの構成を変えることで角度条件を修正していると考えられる。

次に、図11に座面角度の評価結果、図12に大転子-膝角度を示す。

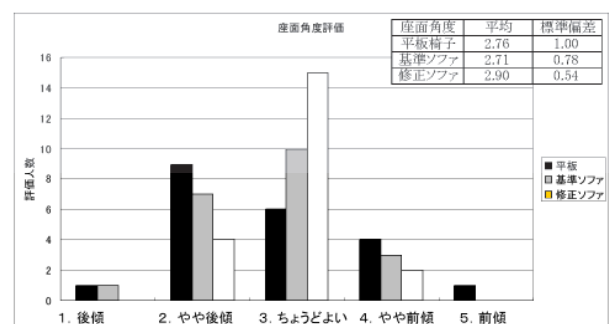


図11. 座面角度の評価結果

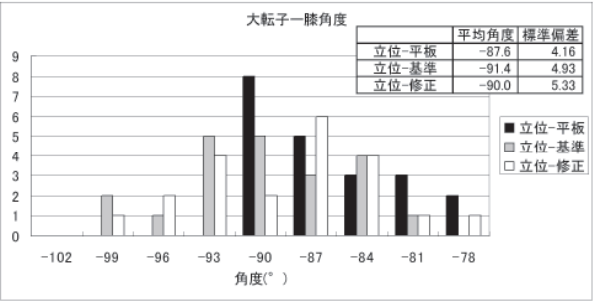


図12. 大転子-膝角度

座面の評価に関して平板合板椅子は「やや後倒している」評価が多いが修正ソファでは「ちょうど良い」評価が多くなる。これより被験者はウレタンフォームの構成を変えることで角度条件を修正していると考えられる。

しかし、写真撮影に立位からの変化とあわせて検討すると背面、座面ともに評価とは逆に背面は起きている、座面は沈み込んでいる傾向が見られる。これに関しては角度データが得られなかった骨盤の傾きや大腿部と下腿部との関係などを検討する必要があると考えられる。

3.2 選択されたウレタンフォームに関して

修正ソファの背面のウレタンフォームの構成に関して考察する。

表3に選択されたクッションの一覧を示す。

表3. 背面：選択されたウレタンフォーム

背面	ウレタン1	ウレタン2	ウレタン3	ウレタン4	ウレタン5
第1層	17	3	1		
第2層	14	4	3		
第3層	13	6	2		
第4層	6	3	4	6	2
第5層	2	3	7	5	4

基準ソファの背面がウレタン2(厚さ20mm)×5枚で構成されていることから考察をすると第1～3層に関してはより柔らかいウレタンフォームを選択していることがわかる。

そこで人体側に最も近い層から第1層～第5層とし、被験者が第1層からどのようにウレタンフォームを選択・構成したか詳細な分析を行った。結果を図13に示す。

人体に最も近い第1層にウレタン1を選択した人が17人と多数を占め、第1層にウレタン1を選んだ人は第2層：ウレタン1→第3層：ウレタン1→第4層：ウレタン1→第5層：ウレタン1、2、3と選択していた。これより背面に関しては軽いタッチのウレタンフォームで構成する傾向があると考えられる。

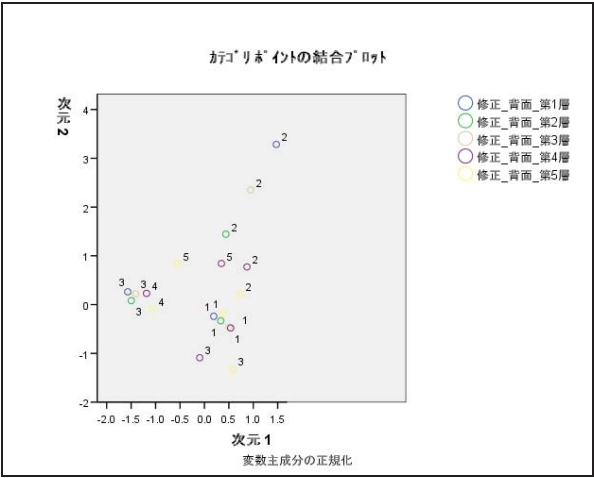


図13. ウレタンフォームの選択傾向(背面)

次に修正ソファの座面のウレタンフォームの構成に関して考察する。

表4に選択されたクッションの一覧を示す。

表4. 座面：選択されたウレタンフォーム

座面	ウレタン1	ウレタン2	ウレタン3	ウレタン4	ウレタン5
第1層	9	9	3		
第2層	1	7	7	6	
第3層		4	5	11	1
第4層		2	5	11	3
第5層		3	6	4	8

基準ソファの座面がウレタン2(厚さ20mm)×5枚で構成されていることから、表層は柔らかめで第2層から第5層にかけてより硬めを好む傾向があると考えられる。

そこで人体側に最も近い層から第1層～第5層とし、被験者が第1層からどのようにウレタンフォームを選択・構成したか詳細な分析を行った。結果を図14に示す。

これより、およそ3種類に分類されることが読み取れた。

①ウレタン1を選択した人

第2層：ウレタン2

第3層：ウレタン2

第4層：ウレタン2

第5層：ウレタン2, 4

のように、第5層以外は柔らかいもの

②ウレタン1を選択した人

第2層：ウレタン2

第3層：ウレタン4

第4層：ウレタン3, 4

第5層：ウレタン5

のように、第1層は柔らかく中間層～第5層へとだんだん硬くなるもの

③ウレタン2を選択した人

第2層：ウレタン4

第3層：ウレタン4

第4層：ウレタン4

第5層：ウレタン5

のように、第1層は柔らかめでそれより下は硬めの3種類の傾向があると考えられる。

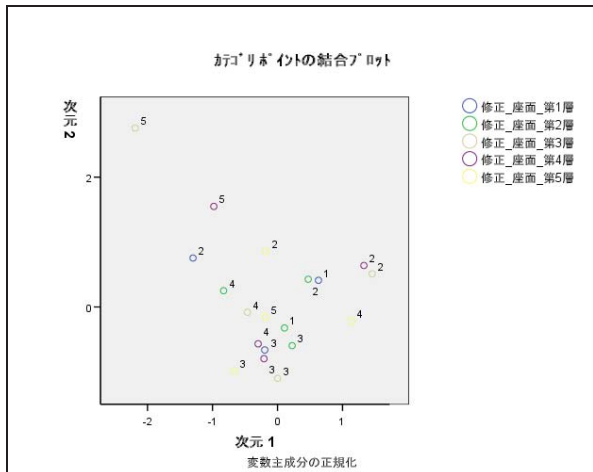


図14. ウレタンフォームの選択傾向(座面)

3.3 座り心地の評価に関して

基準ソファと修正ソファの評価を図15に示す。

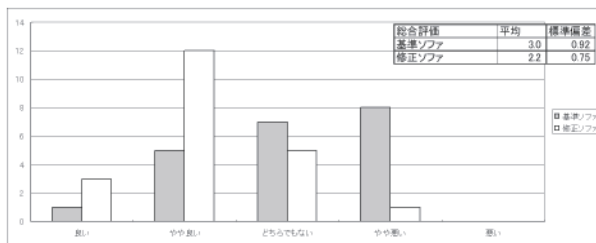


図15. 総合評価

「被験者が自身の好みに合わせてウレタンフォームの組み合わせを選定するよう」との教示に従い、基準ソファから被験者自身の好みにあったウレタンフォームの構成に修正していると考えられた。

次に基準ソファと修正ソファの座り心地評価を人体各部位ごとに比較する。

図16に基準ソファ背面胸部の評価結果、図17に修正ソファ背面胸部の評価結果を示す。

これより背面胸部に関しては、心地よさの向上、跳ね返りの解消が見られた。

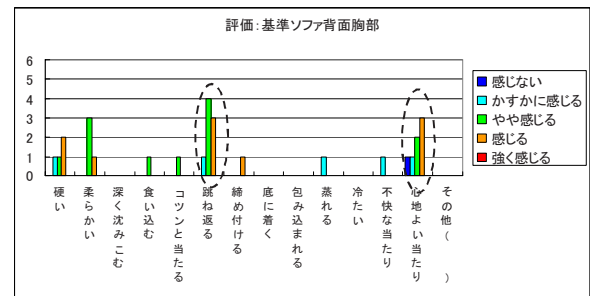


図16. 基準ソファ背面胸部

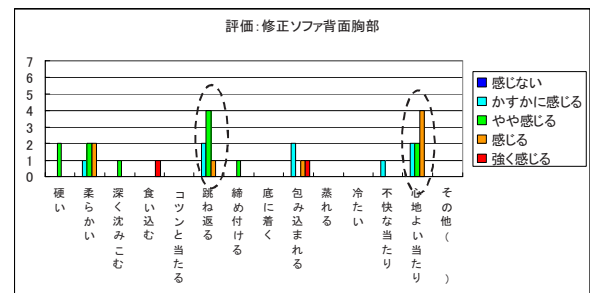


図17. 修正ソファ背面胸部

次に図18に基準ソファ背面腰部の評価結果、図19に修正ソファ背面腰部の評価結果を示す。

これより背面腰部に関しては心地よさの向上、包み込まれる感じの向上、柔らかい感じの解消が見られた。

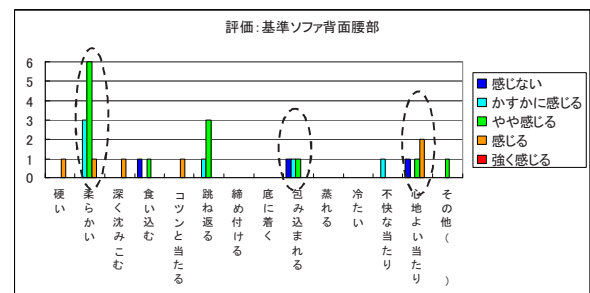


図18. 基準ソファ背面腰部

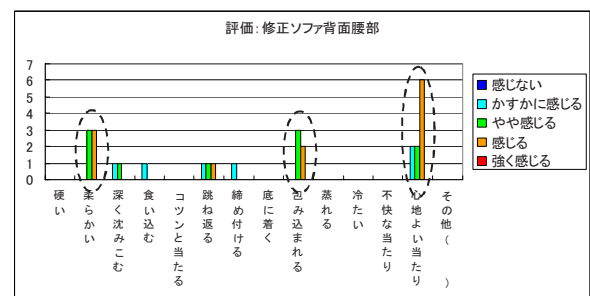


図19. 修正ソファ背面腰部

次に図20に基準ソファ背面臀部の評価結果、図21に修正ソファ背面臀部の評価結果を示す。

図20、21より背面腰部に関して食い込む感じの解消と包み込まれる感じの向上が見られた。

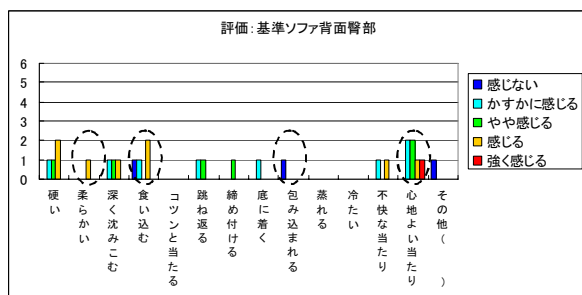


図20. 基準ソファ背面臀部

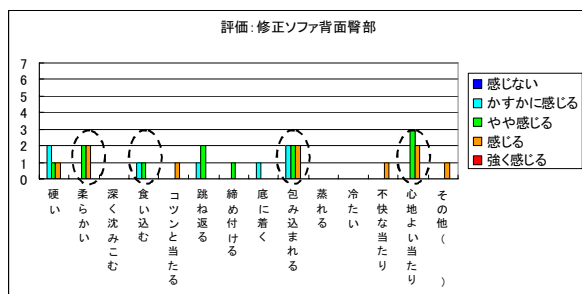


図21. 修正ソファ背面臀部

次に図22に基準ソファ座面大腿部の評価結果、図23に修正ソファ座面大腿部の評価結果を示す。これより座面大腿部に関しては柔らかさ、沈み込む感じの解消と安定性の向上が見られる。

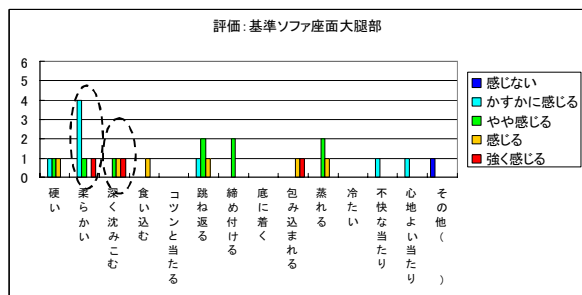


図22. 基準ソファ座面大腿部

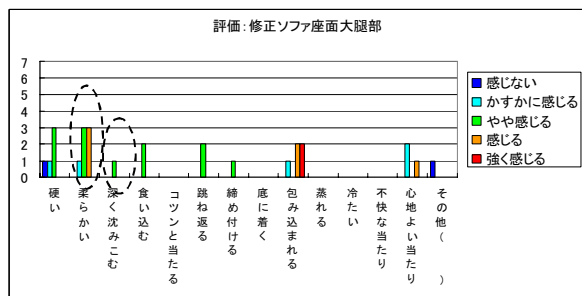


図23. 修正ソファ座面大腿部

次に図24に基準ソファ座面臀部の評価結果、図25に修正ソファ座面臀部の評価結果を示す。

これより底に着く感じ、沈み込む感じの解消と柔らかさより包み込まれる感の向上および心地よさの向上が見られた。

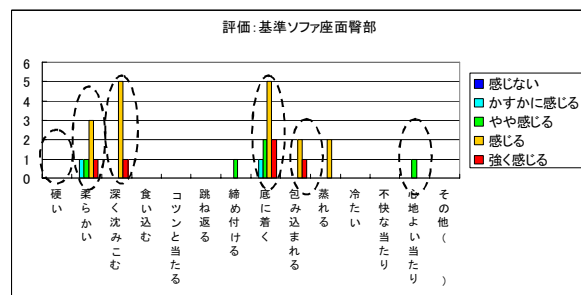


図24. 基準ソファ座面臀部

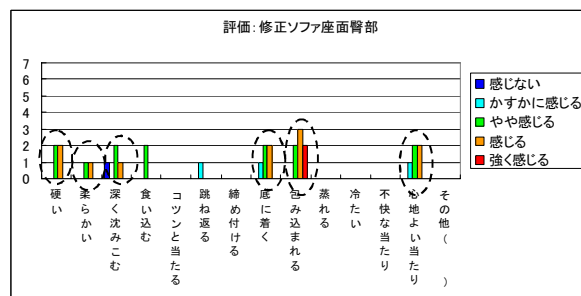


図25. 修正ソファ座面臀部

3.4 体圧分布測定

体圧分布測定に関して考察する。一例として同一被験者の体圧分布測定結果を図26に示す。

体圧周辺部は10mmHgを示し、中心部分に向かうにつれて圧力値が高くなる。体圧中心部の圧力値が最も高い部分は105mmHgである。

図上側が被験者の背面、下側が座面側である。

また、活動センサー数、圧力値合計、圧力平均値の平均を表5に示す。

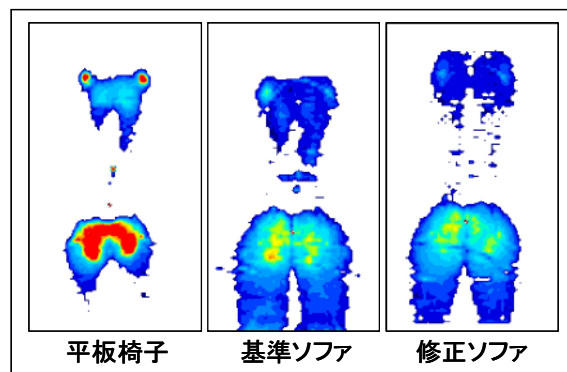


図26. 体圧分布測定結果例

表5. 体圧分布測定データ

		背面	座面
接触面積(cm ²)	基準ソファ	1070.2	1408.7
	修正ソファ	1028.4	1331.9
差(基準ソファー修正ソファ)		41.8	76.7
基準ソファからの変化率		-3.6	-5.5
荷重(mmHg*cm ²)	基準ソファ	20205.3	46876.0
	修正ソファ	17587.2	45219.9
差(基準ソファー修正ソファ)		2618.1	1656.1
基準ソファからの変化率		-11.5	-3.6
圧力値平均(mmHg)	基準ソファ	18.6	33.1
	修正ソファ	16.8	33.7
差(基準ソファー修正ソファ)		1.7	-0.6

全体的な傾向として、背面、座面ともに接触面積、荷重の減少があげられる。これらの減少は沈み込み度合いの減少と関わっていると考えられる。座面の官能評価に注目すると基準ソファから修正ソファの比較では臀部、大腿部ともに柔らかさ、沈み込む感じの減少が見られ、接触面積の減少に関連すると考えられる。背面と座面を比較すると、接触面積に関しては基準ソファと修正ソファでは座面のほうが減少度合いは大きく、一方、荷重に関しては背面の方が荷重の減少が大きい(=座面側への荷重移動の方が大きい)ことから、より座面側で支えるようなウレタンフォームの組み合わせにしていると考えられ、座面の官能評価に注目すると基準ソファから修正ソファの比較では安定性の向上に関連すると考えられる。

また、背面・座面の荷重がともに減少しているのは、着座時の人体を支える要因として背面・座面・足裏があることから足裏側に荷重が移動しているのではないかと推測される。

以上より、修正ソファは基準ソファと比べて座面側で支える構造になっていると考えられる。

4. まとめ

被験者にソファに適したウレタンフォームの組み合わせ・構成を選択し座り心地評価の実験を行い、ソファの設計指針導出のため以下の項目を検討した。

(1) 休息用椅子の設計指針は休息時の安定姿勢を基にした形状・寸法値であるがソファの角度条件として活用可能か

官能評価の結果から、角度の基本条件である平板椅子の背面は「やや倒れている」座面は「やや後倒している」という評価が得られたが、被験者にとって心地よく感じるウレタンフォームの構成を選択することで背面・座面ともに「ちょうど良い」という評価が得られ、ウレタンフォームにより調整可能な条件であると考えられた。

ただし、姿勢計測の方法に関しては検討の余地が残る。

(2) 被験者がどのようなウレタンフォームの組み合わせ・構成を好むか

背面に関しては最も柔らかいウレタンフォームで構成する傾向があり、座面に関しては以下の3種類の傾向があると考えられる。

- ・第5層以外は柔らかいもの
- ・第1層は柔らかく中間層～第5層へとだんだん硬くなるもの
- ・第1層は柔らかめでそれより下は硬め

(3) ウレタンフォームの組み合わせで、どのような姿勢・座り心地になるように修正するか

基準ソファと比較して沈み込みが少なく、座面側で体を支えるようなウレタンフォームの組み合わせを好む傾向があることがわかった。

謝辞

本研究を進めるにあたって、エルゴファニチャー研究会への参加および実験にご協力いただいた飛騨・高山の家具メーカーの皆様に感謝します。

参考文献

- 1) 藤巻吾朗他：岐阜県生活技術研究所研究報告，No.9，pp.12-19，2007. 休息用椅子において推奨される角度条件の検討.
- 2) 藤巻吾朗他：岐阜県生活技術研究所研究報告，No.9，pp.20-29，2007. 休息用椅子における状態の支持方法の検討.
- 3) 成瀬哲哉他：岐阜県生活技術研究所研究報告，No.8，pp.27-33，2005. 座面の物理特性と心理量の関係.

資源循環利用を考慮した木質部材に関する研究（第2報） カッターミルにより調製された木粉の特性評価

今西祐志^{*1}，伊藤国億^{*2}

Study on wood material for resource recycling (II) Evaluation of wood particle properties pulverized by a cutter mill

Hiroshi IMANISHI^{*1} and Kuniyasu ITO^{*2}

木材・プラスチック複合材の物性を左右する因子の一つとして、原料である木粉の形状特性に着目し、その評価を試みた。樹種及び粉砕時含水率を様々に変えてカッターミルによる粉砕を行い、網篩法による粒度分布測定、粒子画像の解析によるアスペクト比分布測定を行った。その結果、粉砕用木材の含水率が大きいほど粒径分布の重量50%径が大きくなる傾向が見られ、また、アスペクト比分布については樹種や粉砕時含水率により異なった傾向が見られることが把握できた。

1. 緒言

循環型社会構築に向けて各方面で様々な対応策が検討されている中、木質バイオマスの有効利用技術に寄せられる期待は非常に大きい。これは、木質バイオマスは賦存量が比較的多く、適切な変換処理によって石油の代替資源となりうる可能性を持っており、再生産可能な資源という側面を持っているからである。とくに、間伐材や林地残材などの価値の低い木質バイオマスを有効利用する技術開発は、資源問題への対応策となるだけでなく、木質バイオマスの高付加価値化による林業の活性化につながり、健全な森林再生産システムの構築による樹木のCO₂吸収の促進が期待できる。

木質バイオマスの利用技術が様々な検討される中、粉砕した木材をプラスチックと複合して自由な形状に成形する材料開発が進められている¹⁾。この材料は、廃木材や廃プラスチックが原料として利用できる環境調和性、材料の熱可塑性を利用して製品を再び成形し直せるリサイクル性など、循環型社会構築に向けた好ましい特性を備えている。加えて、木粉の状態では材料として活用するこ

とにより、炭素の貯蔵庫としての木材の機能がそのまま活かされ、地球温暖化物質であるCO₂の大気中への放出が抑制できる。

当研究所では、木質バイオマスの利用方法として木材・プラスチック複合材に着目し、その普及推進および用途拡大のため、複合材物性の向上ならびに材料設計に向けた基礎データの蓄積に取り組んでいる²⁾。複合材物性を左右する因子は、原料やその前処理方法、混練や成形の方法や条件など膨大にあり、原料である木粉の形状特性もその一つであるが、これについて詳細に調べられた報告は少ない³⁾。木質バイオマスの繊維質に由来する形状特性は複合材の強度物性に対して繊維補強効果をもたらすと考えられ、材料設計を考える上で注意すべきパラメータであると思われる。

そこで本研究では、カッターミルによる木材の粉砕を行い、木粉の粒度分布やアスペクト比を調べ、これらの木粉特性に及ぼす樹種及び含水率の影響について検討を行った。

2. 実験方法

粉砕用木材として、15×15×150 mm程度に鋸断したスギ (*Cryptomeria japonica*)、ヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*)、ブナ (*Fagus crenata*) を

^{*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)

用意した。粉碎直前の材を全乾 (0%MC) 、気乾 (12%MC) 、湿潤状態 (35%MC) とし、カッターミル (ホーライ製、BO-210) に投入して粉碎した。

カッターミルは、回転するローターに取り付けられたカッター刃とケーシングに取り付けられた固定刃により、エッジで挟み切る様にして材料を粉碎する装置である。ケーシングの一部は交換可能なスクリーンとなっており、スクリーンの目開きを通過できるサイズにまで粉碎された材料は、ケーシングに接続された集塵機によって収集される。スクリーンの目開きは、木材・プラスチック複合材で使用される木粉サイズを考慮し、 $\phi 1$ 、 $\phi 2$ 、 $\phi 4$ mmとした。調製量は各条件で約1 kgである。

調製した木粉の性状は、粒度分布、アスペクト比により評価を行った。粒度分布は、網篩法による分級を行って重量基準分布を求めた。アスペクト比は、粒子をマイクロ스코プにより観察した画像を解析して求めた長軸径、短軸径から求めた。測定した粒子の個数は1000である。

3. 結果と考察

図1、図2は、目開き $\phi 2$ 、 $\phi 4$ mmのスクリーンで粉碎されたスギ木粉の積算粒度分布である。水分状態により分布は大きな影響を受けており、湿潤状態での粉碎 (wet) による分布は、全乾状態での粉碎 (dry) によるそれよりも粒子径の大きい側にシフトしている。分布の代表値として重量50%径に着目すると、全乾と湿潤状態の間に $\phi 2$ mmでは389 μ m、 $\phi 4$ mmでは600 μ mの差がある。

図3に、カッターミルで粉碎されたスギ木粉の代表的なものを示す。これは、全乾状態で $\phi 2$ mmのスクリーンで粉碎されたスギのうち、ふるいで500-1000 μ mに区分されたものである。粒子は細長い針状のものが多く見られる⁴⁾。このような木粉粒子の積算アスペクト比分布を図4、図5に示す。図4は、 $\phi 2$ mmで粉碎された木粉についてのものであるが、dryとwetの分布はほぼ同様なものとなっている。分布は粒径区分ごとに特徴があり、例えば、アスペクト比2以下のものは1000-2000 μ mでは約80%であったのに対し、0-150 μ mでは約20%であった。図5は、 $\phi 4$ mmで粉碎された木粉についての分布であるが、dryとwetを比較すると、wetの方がアスペクト比分布の広がりが狭くなっている。アスペクト比2以下に着目してみると、1000-2000

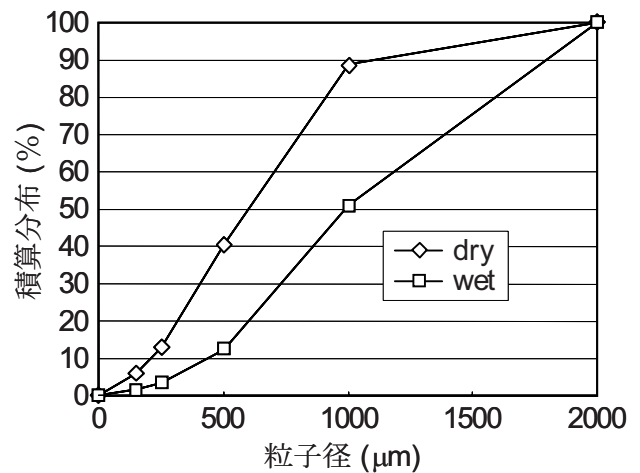


図1 積算粒度分布 (スギ、 $\phi 2$ mm で粉碎)

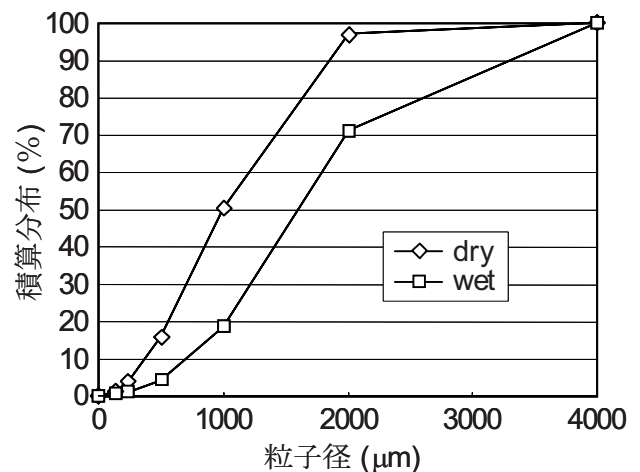


図2 積算粒度分布 (スギ、 $\phi 4$ mm で粉碎)



図3 カッターミルにより粉碎された木粉粒子 (全乾スギを $\phi 2$ mm で粉碎、粒径区分500-1000 μ m)

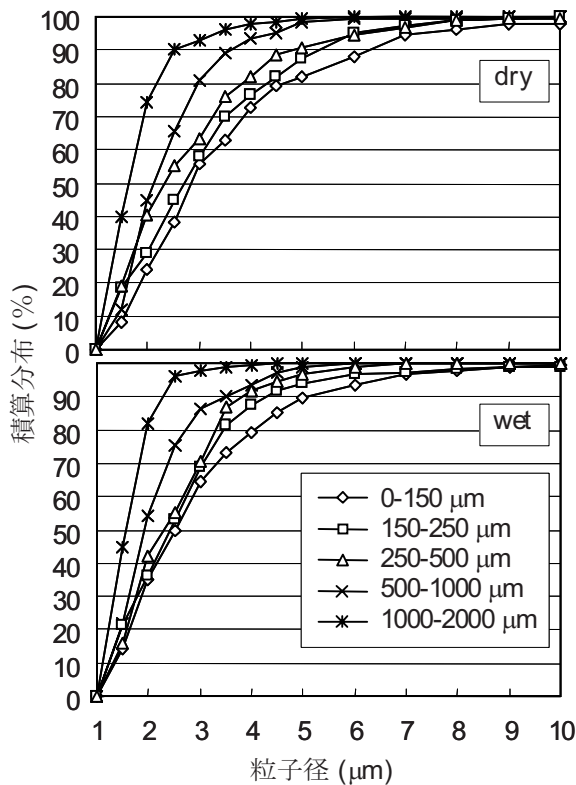


図 4 積算アスペクト比分布
(スギ、 $\phi 2 \text{ mm}$ で粉砕)

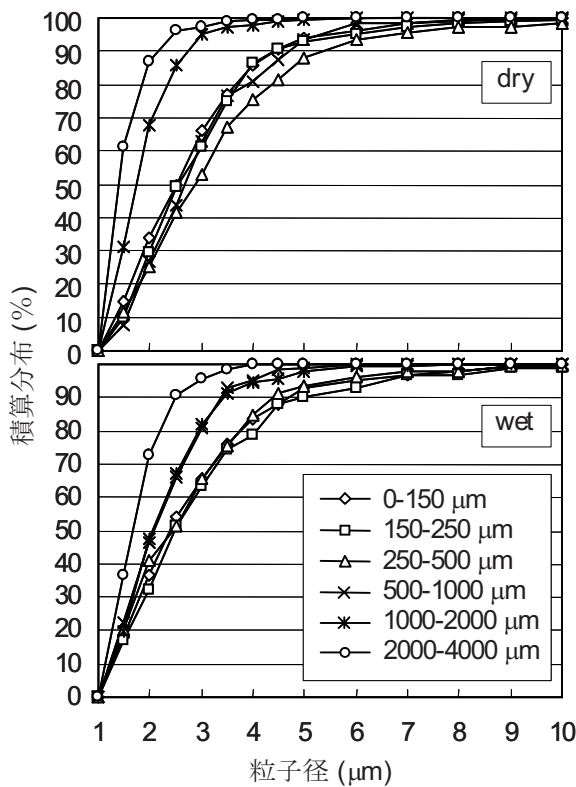


図 5 積算アスペクト比分布
(スギ、 $\phi 4 \text{ mm}$ で粉砕)

$\mu \text{ m}$ ではdryが約90%、wetが約70%であり、0-150

$\mu \text{ m}$ ではdryが約30%、wetが約40%であった。

図6、図7は、目開き $\phi 1 \text{ mm}$ のスクリーンで粉砕された木粉（ヒノキ、ブナ）の積算粒度分布である。図6のヒノキでは、粉砕用木材の含水率が高くなるにつれて粒子径の大きい側に積算分布がシフトしている。重量50%径は0%MCより35%MCの場合の方が $172 \mu \text{ m}$ 大きい。図7のブナの場合も傾向は同様であるが、含水率の影響はより小さく、重量50%径を0%MCと35%MCの場合で比較すると、その差は $117 \mu \text{ m}$ である。ブナとヒノキの積算分布を比較すると、0%MCの場合は両者の分布はほぼ同じであるが、含水率が大きくなるほど差が顕著になる。ヒノキは密度差の大きい早材と晩材が交互に繰り返される構造を有するのに対し、ブナは比較的均質な材である。このような巨視的構造の違いにより、含水率の上昇とともに力学的特性の

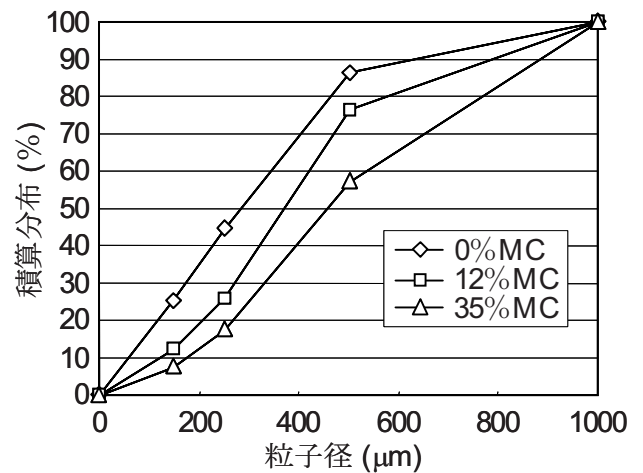


図 6 積算粒度分布（ヒノキ、 $\phi 1 \text{ mm}$ で粉砕）

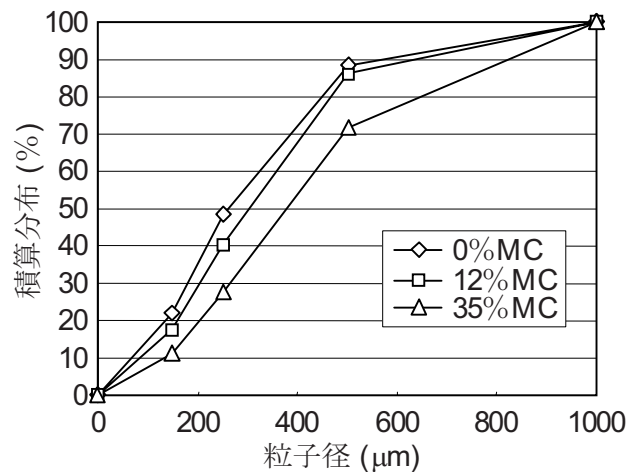


図 7 積算粒度分布（ブナ、 $\phi 1 \text{ mm}$ で粉砕）

差が顕著になり、分布に影響を及ぼしたと思われる。

図8、図9に、目開き $\phi 1 \text{ mm}$ のスクリーンで粉碎された木粉（ヒノキ、ブナ）の積算アスペクト比分布を示す。図8のヒノキの場合を見ると、粉碎用木材の含水率の影響を受けて分布に差が生じていることが看取される。全乾、気乾での粉碎では、いずれの粒径区分でも分布は概ね同じであり、約40%がアスペクト比2以下であったが、湿潤状態での粉碎では小径に区分された粒子（ $0-250 \mu\text{m}$ ）のアスペクト比が大きく（約80%がアスペクト比2以上）、幅広く分布している。一方、図9のブナの場合を見ると、粉碎用木材の含水率による分布への影響はあまり顕著ではない。しかし、粒径区分ごとの分布の差は明瞭に現れており、粒子径が小さいほどアスペクト比が大きい傾向にある。図8、図9から、例えばアスペクト比2以上の粒子を約80%含む木粉を調製するためには、ヒノキでは湿潤状態で粉碎して $0-250 \mu\text{m}$ に区分された粒子を集め、ブナでは含水率に関係なく $0-150 \mu\text{m}$ の粒子を集めればよいことが分かる。

4 結言

カッターミルを用いて木材の粉碎を行い、得られた木粉の形状特性（粒度分布、アスペクト比分布）に及ぼす樹種及び含水率の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) スギ、ヒノキ、ブナのいずれにおいても、粉碎用木材の含水率が大きいほど、重量50%径は大であった。
- 2) $\phi 2 \text{ mm}$ で粉碎したスギの場合、粉碎用木材の含水率によるアスペクト比分布への影響はあまり見られなかった。また、粒径区分が小さいほどアスペクト比が大きくなる傾向が見られた。一方、 $\phi 4 \text{ mm}$ で粉碎した場合の分布は、粉碎用木材の含水率による違いが見られ、湿潤状態での粉碎の方が比較的狭い分布となった。
- 3) ヒノキのアスペクト比分布は粉碎用木材の含水率の影響を受け、特に湿潤状態での粉碎の場合、粒径区分ごとの分布に顕著な差が見られた。一方、ブナの場合は粉碎用木材の含水率の影響はあまり見られず、小径に区分された粒子ほどアスペクト比が大であった。

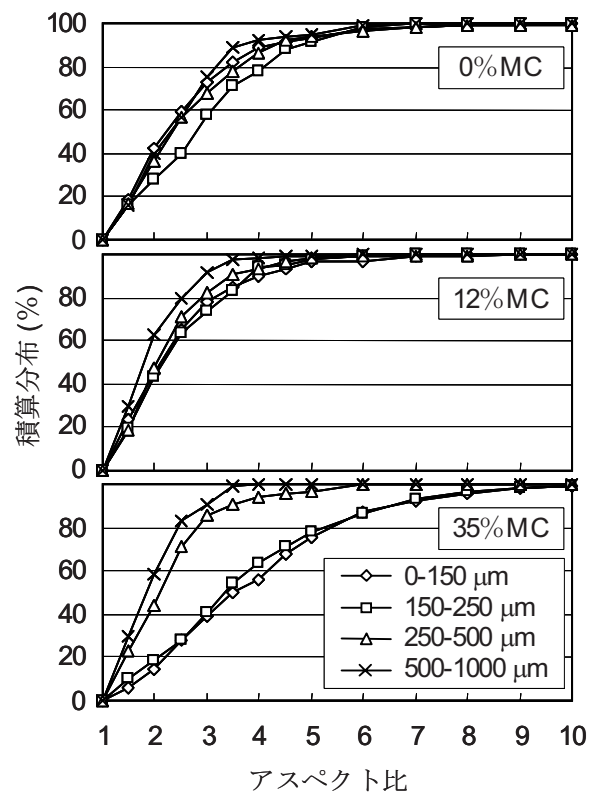


図8 積算アスペクト比分布
(ヒノキ、 $\phi 1 \text{ mm}$ で粉碎)

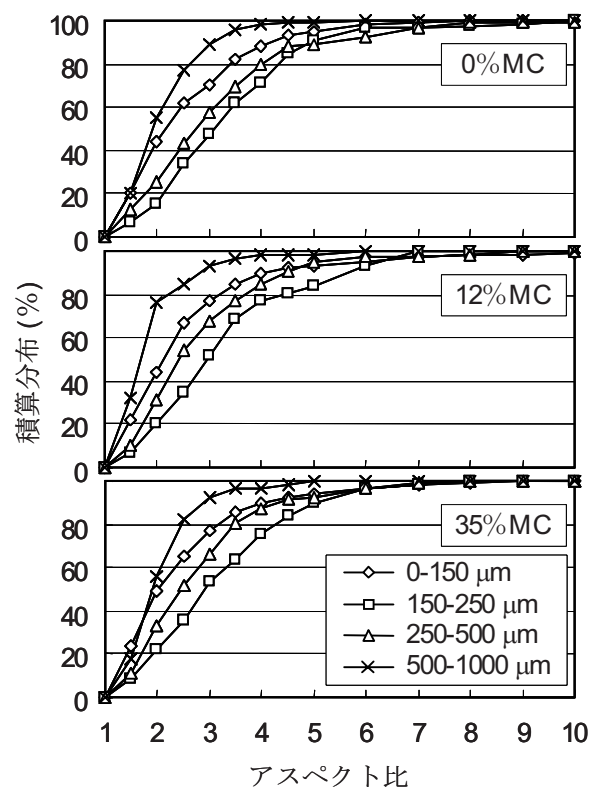


図9 積算アスペクト比分布
(ブナ、 $\phi 1 \text{ mm}$ で粉碎)

文献

- 1) 岡本忠：木材学会誌, **49**, pp. 401-407 (2003).
- 2) 今西祐志：岐阜県生活技術研究所研究報告, No. 10, pp. 15-19, 2008.
- 3) 小林信介, 佐藤豊幸, 岡田信彦, 小林潤, 羽
田野重信, 板谷義紀, 森滋勝：日本エネルギー学会誌, **86**, pp. 730-735 (2007).
- 4) 遠藤貴士, 北川良一, 廣津孝弘, 細川純: 高分子論文集, **56**, pp. 166-173 (1999).

混合無水物による木材の耐光性向上

三井勝也*

Improvement of photo-stability of wood by mixed anhydrides

Katsuya MITSUI*

本研究では、無処理木材および光熱着色木材に混合無水物処理(C_2-C_n 処理)を導入し、その耐光性について検討した。無処理木材において、 C_2-C_n 処理にともなう材色変化については ΔE^* が概ね5程度であることから、外観を損ねることはないと考えられた。 C_2-C_n 処理後に光照射すると、すべての処理材において ΔL^* が上昇した。

光熱着色木材への C_2-C_n 処理の導入については、その導入時を3タイプ(光熱処理後、光照射と熱処理の間、光熱処理前)に分け検討した。光照射後に C_2-C_n 処理を導入した場合は、その耐光性は C_2-C_n 処理を導入しなかったものより低下した。光照射と熱処理の間に C_2-C_n 処理を行った場合は、光熱処理による着色効果が得られなかった。光熱処理前に C_2-C_n 処理を導入した場合は、 C_2-C_n 処理を行わないものと同程度の光熱着色効果が得られるが、耐光性についても同程度しか得られなかった。これらの結果から、アセチル化やエステル化は耐光性を向上するものではなく、その後の光照射を伴うことによって、光漂白作用を引き起こすもの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、様々な化学修飾が試みられている。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、エステル化を行う際に、無水カルボン酸を用いず、塩化物を用いた試みもあるが¹³⁾、副生成物に塩酸が含まれるため、反応系のみならず、生成物への損傷が懸念されている。この懸念を解消するために開発された手法が混合無水物処

理である¹⁴⁾。木材に混合無水物処理をすると、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¹⁴⁻¹⁶⁾。しかし、本処理を施した木材の耐光性については検討されていない。

当研究所では、木材表面の意匠性を向上させるために、光熱処理による着色方法を開発した¹⁷⁻²⁴⁾。これは、光照射と熱処理を組み合わせることにより木材表面の材色を著しく変化させる方法であり、有機溶剤等を用いることなく木材を着色できる方法である。熱処理条件¹⁷⁾や光照射条件²⁰⁾を変えることにより、材色をコントロールすることができると。しかし、その後光照射を行うと、少なからず退色を引き起こす²⁴⁾。

そこで、本研究では通常の木材および光熱着色木材に混合無水物処理を適用し、その耐光性について検討した。

2. 混合無水物処理

無水カルボン酸とカルボン酸を混合したとき、図1に示す平衡反応が生じる。

* 試験研究部 (木質材料研究室)

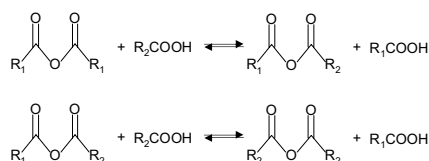


図 1. 無水カルボン酸とカルボン酸の反応

例えば R_1 に CH_3 を、 R_2 に $\text{C}_{17}\text{H}_{33}$ を、すなわち、無水酢酸とオレイン酸を混合した場合、平衡に達すると、5 種類の分子（無水酢酸、酢酸-オレイン酸無水物、無水オレイン酸、酢酸、およびオレイン酸）が同時に存在する。この反応における反応速度は温度に依存し、両反応とも 2 次反応で表される²⁵⁾。この反応系にセルロースを加え、加熱すると、セルロースのアセチル化($-\text{C}(\text{O})\text{CH}_3$)とエステル化($-\text{C}(\text{O})\text{R}_2$)が同時に進行する。また、その置換度は加熱温度や処理時間に依存する¹⁴⁾。

3. 実験方法

3.1 供試材料

本研究ではスプルース(*Picea sitchensis*)を用いた。試験片の大きさは50mm(L)×10mm(R)×1mm(T)とした。なお、無処理材の材色は、(L^*, a^*, b^*)=(74.16±1.10, 7.07±0.43, 22.46±0.86) ($n=120$)であった。

3.2 光熱処理

光熱処理は光照射と熱処理の工程からなる。光照射はスーパーキセノンウェザーメータ(SX-75:スガ試験機株式会社製)を用い100時間行った。ブラックパネル温度63℃とし、放射照度は300-400nmにおいて180Wm⁻²とした。熱処理は恒温恒湿器を用い90℃90%RHにおいて100時間処理した。

3.3 混合無水物処理

混合無水物処理には、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）、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、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 140℃2 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。

光熱処理着色木材への C₂-C_n 処理の導入は、図 2 に示すとおり、光熱処理後(Type 1)、光照射と熱処理の間(Type 2)、光熱処理前(Type 3)の 3 タイプとした。

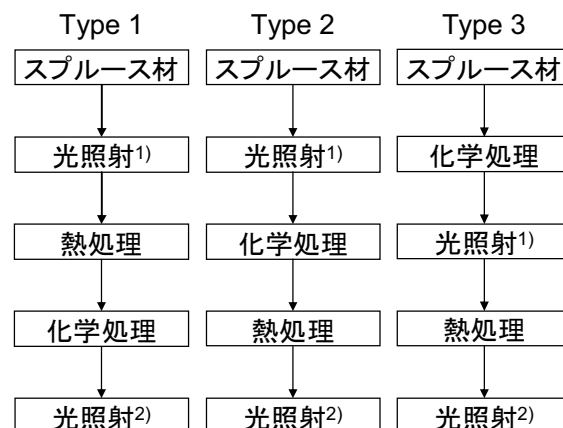


図2. 化学処理と光熱処理の複合処理

化学処理：C₂-C_n処理、光照射¹⁾：光熱処理工程のための光照射100時間、光照射²⁾：耐光性評価のための光照射100時間、熱処理：90℃90%RH100時間

3.4 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 3)。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。

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

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

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

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

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。

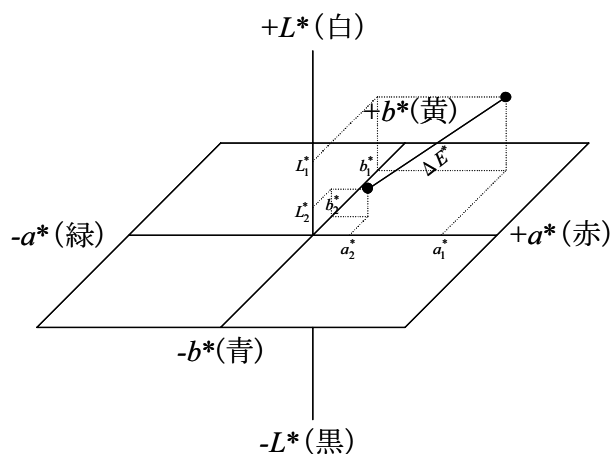


図3. 色空間

3.5 耐光性試験

耐光性試験はすべての処理を終えた後、スーパーキセノンウェザーメータを用い100時間光照射した。

4. 結果と考察

4.1 無処理材へのC₂-C_n処理の導入による耐光性

図4に無処理材のC₂-C_n処理後の材色変化を示す。すべての処理においてにおいて ΔL^* が正の値を示し、 Δa^* は負の値を示したことから、材色は明色化していることがわかる。しかし、 ΔE^* は概ね5程度であることから、著しい材色変化引き起こされておらず、C₂-C_n処理によって、木材本来の材色が大きく損なわれることはないと思われる。

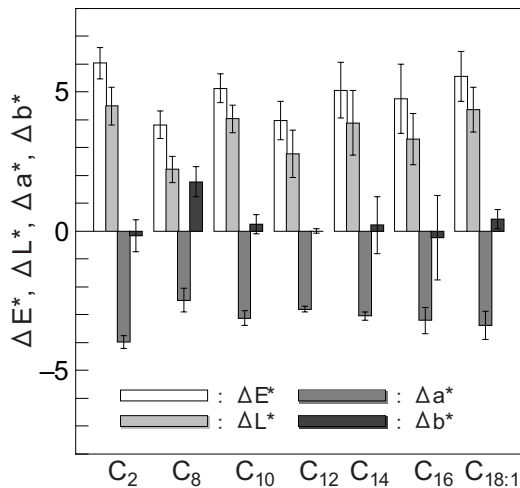


図4. C₂-C_n処理によるスプルース材の材色変化

図5にC₂-C_n処理材と光照射後の明度指数の差(ΔL^*)を示す。C₀はC₂-C_n処理を行っていない試験片、すなわち、無処理材の光照射による変化である。C₀については、光照射による黄変にともない、 L^* が低下したものと考えられる。C₂-C₂からC₂-C_{18:1}処理はすべて ΔL^* が上昇したことから、光照射によって、材色が明るくなったことを示す。しかしC₂-C₁₄処理を除き、C₂-C₈からC₂-C_{18:1}処理においては、C₂-C₂処理よりも変化が小さいことから、アセチル化処理ほど大きな材色変化は起こっていないと考えられる。材色変化に及ぼす分子鎖長への依存性については、C₂-C₁₄処理を除けば、分子鎖が長くなるほど、変化量は小さくなる傾向が見られるが、さらなる検討が必要である。

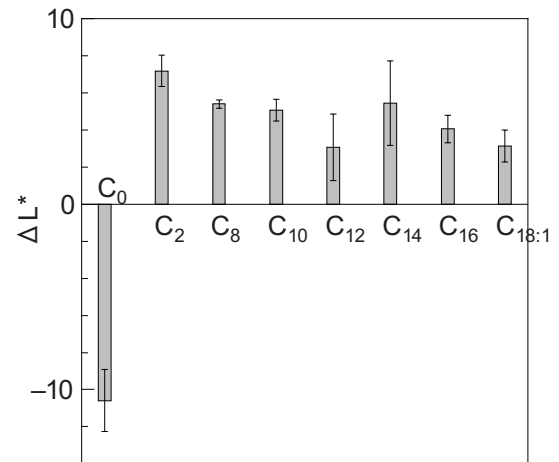


図5. C₂-C_n処理材の光照射による材色変化

4.2 光熱処理着色木材へのC₂-C_n処理の導入による耐光性

光熱処理による木材の着色では、CIELAB表色系で材色を表したとき、 L^* の変化が最も大きい¹⁷⁾。そこで、本項では ΔL^* のみについて検討を行った。

図6に処理タイプ1の、すなわち、光熱処理後にC₂-C_n処理を行った場合の ΔL^* を示す。C₂-C_n処理後の光照射(L₂)によって、化学修飾材は ΔL^* が著しく上昇し、その変化の程度はC₀よりも大きかった。また、光照射(L₁)後の ΔL^* よりも大きかった。すな

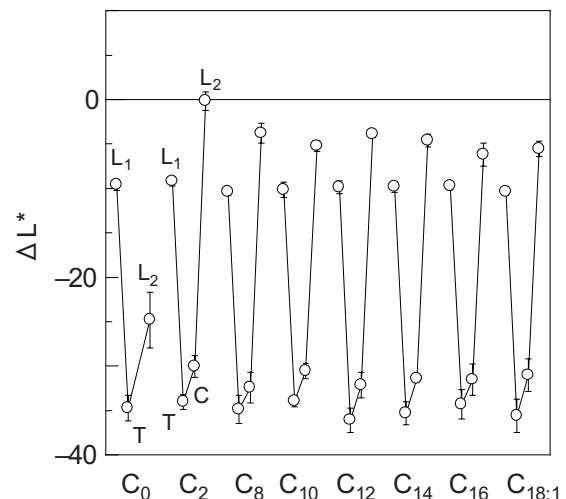


図6.処理タイプ1(光熱処理後にC₂-C_n処理)のときの ΔL^* の変化

L₁: 光熱処理工程のための光照射100時間、T: 熱処理(90°C90%RH)100時間、C: C₂-C_n処理、L₂: 耐光性評価のための光照射100時間

わち、光熱処理による着色後、 C_2 - C_n 処理を行っても、耐光性向上を図ることができないだけでなく、光照射(L_2)によって、無処理材の材色に近づいていることがわかる。

図7に処理タイプ2の、すなわち、光照射と熱処理の間に C_2 - C_n 処理を行ったときの ΔL^* を示す。 C_2 - C_n 処理後に熱処理を行っても著しい材色の変化(ΔL^* の低下)は見られなかった。これは、光熱処理による着色効果そのものが得られなかったことを意味する。また、その後、光照射(L_2)を行うと ΔL^* は上昇した。処理タイプ1同様に、光照射(L_1)後の ΔL^* よりも大きかった。

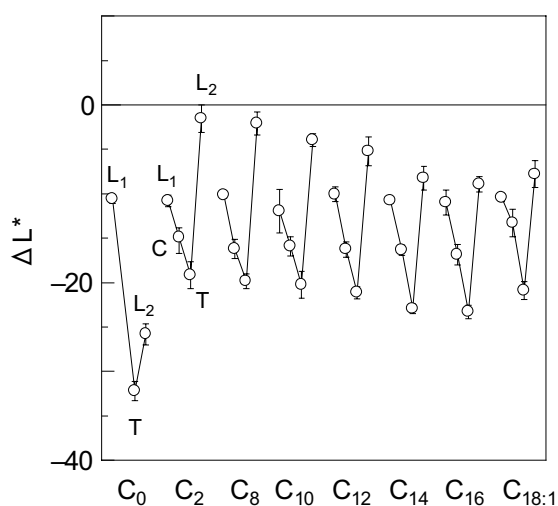


図7.処理タイプ2(光照射と熱処理の間に C_2 - C_n 処理)のときの ΔL^* の変化

L_1 : 光熱処理工程のための光照射100時間、 C : C_2 - C_n 処理、 T : 熱処理(90°C 90%RH)100時間、 L_2 : 耐光性評価のための光照射100時間

図8に処理タイプ3の、すなわち、あらかじめ C_2 - C_n 処理を行い、その後光熱処理を行ったときの ΔL^* を示す。 C_2 - C_n 処理後の光照射(L_1)による変化については、4.1項で述べている。光照射(L_1)後の熱処理によって ΔL^* は著しく低下し、 C_0 と同程度の材色変化を示した。また、その後の光照射(L_2)による材色変化についても C_0 と同程度の変化を示した。すなわち、本処理タイプにおいても、著しい耐光性向上を図ることはできないが、少なくとも、 C_0 程度の変化に抑えるは可能であり、着色効果を保持し、かつ、 C_2 - C_n 処理による機能を付与するには、処理

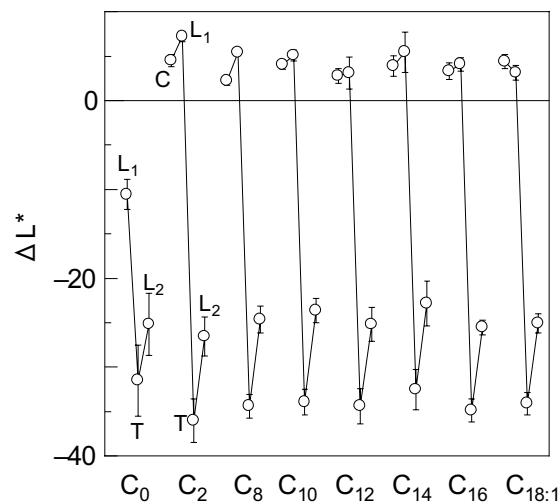


図8.処理タイプ3(光熱処理前に C_2 - C_n 処理)のときの ΔL^* の変化

C : C_2 - C_n 処理、 L_1 : 光熱処理工程のための光照射100時間、 T : 熱処理(90°C 90%RH)100時間、 L_2 : 耐光性評価のための光照射100時間

タイプ3が有効である。

これまで、アセチル化やエステル化は耐光性を向上させる手法であると考えられてきた¹⁰⁻¹²⁾。しかし、光熱処理着色木材に C_2 - C_n 処理を導入し、検討した結果、「耐光性向上」ではなく、その後に光照射されることによって引き起こされる「光漂白」と考えるべきである。従来の報告でも、アセチル化後に光照射を行うと、 L^* が上昇する傾向が見られているが^{10,11)}、アセチル化前の材色が比較的明色のため、著しい L^* の上昇が見られなかったものと思われる。また、この現象は、 C_2 - C_n 処理後の初めての光照射の際にのみ現れるものであり、光照射後に何らかの処理(本研究では熱処理)が実施されると、2度目の光照射では出現しないものであると考えられる。また、光熱処理による着色は、その工程において順序が重要であるが、「光照射」と「熱処理」の間に化学修飾が行われた場合、光熱処理による着色が行われないことから、「光照射」と「熱処理」は連続で行われなければならないこと、さらに、光照射によって生成した成分が光熱処理による着色成分の生成に寄与していることが推測された。

今後、FT-IRデータ等と共に詳細について検討するとともに、 C_2 - C_n 処理によって細胞壁内のどこまで反応が起きているのか等、検討する必要がある。

5. まとめ

本研究では、無処理木材および光熱着色木材に C₂-C_n処理を導入し、その耐光性について検討することによって、以下の結論を得た。

- (1)無処理木材において、C₂-C_n処理にともなう材色変化は小さいことから、木材素材の外観を損ねることはない。
- (2)C₂-C_n処理後の光照射によって ΔL^* は上昇した。
- (3)C₂-C_n処理の導入後の最初の光照射によって L^* は著しく上昇することから、アセチル化やエステル化は耐光性を向上するものではなく、光照射を伴うことによって「光漂白」が引き起こされる。
- (4)光熱処理による着色木材に C₂-C_n処理の効果を付与するには、あらかじめ C₂-C_n処理をする必要がある。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、ご指導いただいた Ecole Nationale Supérieure des Ingénieurs en Arts Chimiques et Technologiques 教授 Carlos Vaca-Garcia 氏、および博士研究員 Jérôme Peydecastaing 氏に感謝します。

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).
Sophie 論文.
- 13) Thiebaud S., Borredon M.E.: *Bioresource Technol* **52**, 169-173 (1995).
- 14) Peydecastaing J: 学位論文 “Chemical modification of wood by mixed anhydrides.” トウーラーズ大学 (2008).
- 15) Peydecastaing J., Vaca-Garcia C., Borredon E., El Kasmi S.: *Cellulose* (投稿中).
- 16) Peydecastaing J., Vaca-Garcia C., Borredon E., El Kasmi S.: *Bioresource Technol* (投稿中).
- 17) Mitsui K., Takada H., Sugiyama M., Hasegawa R.: *Holzforschung* **55**, 601-606 (2001).
- 18) Tsuchikawa S., Murata A., Kohara M., Mitsui K.: *J Near Infrared Spectrosc* **11**, 401-405 (2003).
- 19) Mitsui K., Murata A., Tolvaj L.: *Holz Roh Werkst* **61**, 82 (2003).
- 20) Mitsui K.: *Holz Roh Werkst* **62**, 23-30 (2004).
- 21) Mitsui K., Murata A., Tolvaj L.: *Holz Roh Werkst* **62**, 164-168 (2004).
- 22) Mitsui K., Murata A., Tsuchikawa S., Kohara M.: *Col Res Appl* **29**, 312-316 (2004).
- 23) Mitsui K., Tolvaj L., Papp G., Bohus J., Sztmári S., Berkesi O. *Wood Res-Slovakia* **50**, 1-8 (2005).
- 24) Mitsui K., Tolvaj L.: *Holz Roh Werkst* **63**, 392-393 (2005).
- 25) Peydecastaing J., Vaca-Garcia C., Borredon E.: *Eur J Lipid Sci Tech* (印刷中).

高強度かつ軽量な木質材料の開発

伊藤国億^{*1}、今西祐志^{*2}

Development of high-strength and light-weight wood materials

Kuniyasu ITO^{*1} and Hiroshi IMANISHI^{*2}

ハンドレイアップ法-ホットプレス成形において、各強化材のうち、ロービングクロスが最適な強化材であった。また、繊維配向性を有する強化材を用いる場合、積層することで FRP の強度は向上した。

木材と FRP 間の接着力の不足により、FRP により付加される強度を最大限発現できなかったが、ナラ材など樹種によっては総体的に軽量で強度の高い複合材となった。一方、FRP の片面積層では材に歪みが生じやすくなった。また、弾性率の高い木材を用いた複合材では、その複合材の比弾性は木材よりも低くなった。

1. 緒言

木製家具の軽量化かつ強度を高める手段として、比重の軽い素材の活用やハニカムコアの導入、ホゾ接合の技術向上などがなされている。しかし、これらの技術では軽量で高強度、かつ意匠性の高い革新的な家具を製造するには限界がある。そこで、内部又は外装面に軽量かつ高強度な繊維強化材料を用いることで、木材単体では得られない軽量・剛性のある木質材料を提供するため、FRP と木材との複合化を行うこととした。

高強度かつ軽量な木質材料を開発することで、家具の各部位の厚みを減らし、軽量かつ強度のある木製家具の製作が可能となる。また、材料の厚みを減らすことで、デザイン性も広がるため、木製家具業界への新たなアプローチが期待できる。

2. 実験方法

2.1 供試材

木材は、ブナ材及びナラ材ともに柾目板を用い、板材を 10(接線方向:W)×23(半径方向:T)×350 mm(繊維方向:L)にカットし、これを恒温恒湿下にて平衡含水率(約7%)に達するまで放置した。放置後、複合化の処理直前にW方向に適宜カットしたものを試験体とした。

また、FRP成形材料として、マトリックスに不飽和ポリエステル樹脂(1585BQT; 昭和高分子(株)製)を、強化材にチョップドストランドマット((ECM450-501; セントラル硝子(株)製)以後、CMと略する)、ガラスクロス((EGW210TH; セントラル硝子(株)製)以後、GWと略する)、ロービングクロス((ERW580; セントラル硝子(株)製)以後、RWと略する)を、硬化剤にパーメックN(日本油脂(株)製)を用いた。なお、プライマーとしてビニルエステル樹脂(R-806DA; 昭和高分子(株)製)を用いた。

2.2 FRP成形

FRPの成形方法は、設備コストの負担が少なく、形状及び強度設計の自由度が高いハンドレイアップ法を用いた。但し、ハンドレイアップ法では均一的な材厚に成形するには、熟練な技量が必要なため、今回、ホットプレスを用いることで均一な材厚とした。始めに、強化ガラス上に配置したシリコンシートの上に、適宜カットした強化材を配置した。これに硬化剤を1部重量加えた不飽和ポリエステル樹脂を含浸、脱泡後、シリコンシート及び強化ガラスにて挟み、プレス機にて10kgf/cm²下、2時間加圧した。解圧後、一週間恒温恒湿室で静置した。なお、各種強化材ごとに積層枚数を適宜増やした。

^{*1} 試験研究部 (木質材料研究室)

^{*2} 試験研究部 (生活支援機能研究室)

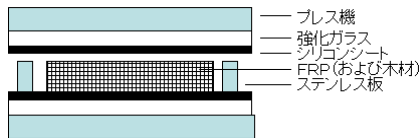


図1 プレス機による積層方法

2.3 木材とFRPとの複合化

予め、試験体には樹脂が僅かに含浸するため、試験体はFRPとの接着面以外にマスキング処理を行った。次いで、成形前に試験体にプライマーを刷毛塗り後、試験体の柁目面の片側に不飽和ポリエステル樹脂を塗布し、この上にロービングクロスを配置し、さらに不飽和ポリエステル樹脂を含浸し脱泡させ、図1に示すFRP成形と同様に、プレス成形を行った。

また、試験体の柁目両面にFRPを成形した複合材も製作した。

2.4 複合材の強度予測

木材とFRPの積層複合化において、最外層両面にFRPを積層したサンドイッチ構造の場合、その曲げ弾性が予測されている¹⁾。本研究では、高強度はもとより軽量化も考慮するため、比重の高いFRPの積層は必要最低限とする必要がある。そこで積層の下端部に引張弾性の高いFRPを配置し、LVLの構造解析に用いる等価断面法²⁾に従って、複合材の強度予測を行った。

2.5 物性試験

2.5.1 剥離試験

2.3で製作した試験体は、8時間水中(20℃)に浸せき後、乾燥機を用い、浸せき前の含水率に戻るまで50℃下で乾燥させた。乾燥後に試験体とFRPとの接着層間の剥離状況を観察し、剥離率を求めた。

2.5.2 曲げ強度試験

2.2で製作したFRPは、オートグラフ(AG-50kN ; 株式会社島津製作所製)を用い、JIS K7017(繊維強化プラスチック)に準拠し、曲げ試験を各6本行った。

また、2.3で製作した複合材は、JIS Z2101(木材試験方法)に準拠し、曲げ試験を各6本行った。

2.5.3 引っ張り強度試験

2.2で製作したFRPは、JIS K7164(等方性及び直交異方性繊維強化プラスチックの試験条件)に従って試験片を調整し、オートグラフおよび伸び計(SSG50-10 ; 株式会社島津製作所製)を用いて、JIS K7161(プラスチック-引張特性の試験方法)に準拠し、引っ張り試験を各6本行った。

また、2.3で製作した複合材は、JIS Z2101(木材試験方法)に準拠し、引っ張り試験を各6本行った。

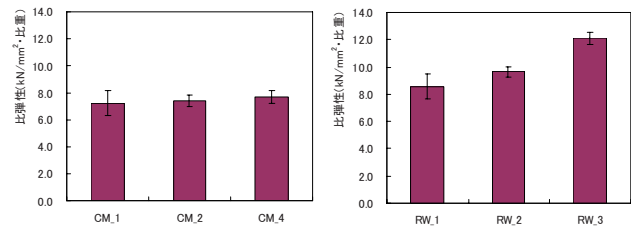


図2 積層数に伴うFRPの引張り弾性

CM: チョップドストランドマット、RW: ロービングクロス
強化材名の横の数値は、積層数を示す

表1 積層数に伴うFRPの曲げ特性

積層数	繊維含有率 [v/v: %]	曲げ強度 [N/mm ²]	曲げ弾性率 [kN/mm ²]
1	51	108	13.2
2	48	351	18.9
3	48	524	18.2

強化材はRWを使用

3. 結果と考察

3.1 FRP材料の選定

各種FRPの引張り弾性を図2に示す。CMを用いたFRPにおいて、積層枚数を増やしてもその比弾性は一定であった。一方、RWを用いたFRPの比弾性は、積層枚数を増やすと増加した。繊維強化複合材料は、マトリックスとなる樹脂をガラス繊維からなる強化材で補強して構成され、巨視的には均質異方性体である³⁾。しかし、微視的に見ると単層など積層枚数が少ない場合では、その材料中の繊維配向が乱れやすくなっていると考えられる。そのため、RWの比弾性は積層2枚では1枚の13%増、積層3枚では2枚の25%増と、積層枚数に伴って増加、剛性は安定化したと思われる。また、CMおよびRWともに単層のFRPでは、ばらつきが大きいことから繊維配向性が悪いと考えられる。

積層枚数に伴うFRPの曲げ特性を表2に示す。積層枚数の増加に伴い、曲げ強度は増加したが、曲げ弾性率は比例して増加しなかった。繊維強化複合材の複合化において、強化材への樹脂含浸は重要である。繊維含有率が高い場合、繊維間の重なりにより、繊維のぬれが悪くなり、樹脂含浸が不足し、強度低下を起こす⁴⁾。積層枚数を増やす場合においても、同様に繊維間の重なりが生じ、層間や強化材-マトリックス間で強度低下しやすくなると考えられ、結果的に積層3枚では2枚と同程度の曲げ弾性率を示したと思われる。なお、目視によりFRP出来具合を確認したところ、積層3枚のFRPの繊維周辺では一部に白色箇所が見受けられることから、繊維のぬれ性が曲げ特性の低下に起因

表2 各強化材を用いたFRPの曲げ弾性

FRP	繊維含有率 [v/v; %]	曲げ弾性率 [kN/mm ²]	(比弾性) [kN/mm ² ・比重]
CM_4	44	14.8	(8.2)
GW_6	47	20.2	(10.9)
RW_2	48	19.4	(10.4)

強化材名の横の数値は積層数を示す

しているものと思われる。

各FRPの強化材の繊維配向の相違による強度の比較を行った。その結果として、表2に各強化材を用いたFRPの曲げ弾性を示した。一般に繊維含有率が機械的特性に影響を与えることが知られている³⁾。各FRPはともに同程度の繊維含有率において、その強度特性が相違した。繊維配向がランダムなCMに比べて、GWおよびRWは繊維配向が直交しているため、このFRPの比弾性は高くなったと考えられる。同じ直交の繊維配向でもGWの繊維は撚っていることから、RWの弾性率はGWの弾性率よりも高くなったと考えられる。これらのことから、ハンドレイアップ後にプレス成形を行った場合においても、FRPに用いる強化材の機械的特性の相関は得られたと考えられる。

一方で、今回のハンドレイアップ法でRWを4枚積層した場合、積層作業時間は40分以上となり、作業途中に樹脂がゲル化した。これは、RWはGWに比べて繊維径が太く樹脂の含浸性が劣るため、含浸・脱泡の作業性が悪化したことによる。そのため技術的に積層3枚を最大枚数とした。他のガラス繊維においては、最大積層枚数はCMが4枚、GWが6枚であり、積層枚数が最大するとき、曲げ特性もそれぞれ最大値を示した。

ハンドレイアップ法においては、その作業効率は重要である。そこで、積層数を少なく、かつ高強度が得られるRWを、複合材の強化材として用いることとした。

3.2 複合化処理 (積層処理)

2.5.1 剥離試験を行ったところ、ブナ材、ナラ材の各複合材は、ともに剥離はみられなかった。図3に剥離試験後の複合材を示す。FRPの寸法変化は極めて小さいため、試験体の収縮・膨張にFRPが追随せず、複合材は歪んだ。このことから、FRPの積層を両面に施す、或いはアラミド繊維など収縮・膨張が期待される強化材の応用を検討する必要がある。

表3にナラ材およびFRPの引張り弾性を示す。ナラ材はFRPに比べて引張弾性率は低かった。しかし、ナラ材の比重はFRPの比重の1/3と小さいため、ナラ材の比弾性は、FRPの比弾性よりも高くなった。



図3 複合材の歪み

表3 ナラ材、FRPの引張り弾性

供試材	比重 [g/cm ³]	引張弾性率 [kN/mm ²]	(比弾性) [kN/mm ² ・比重]
Oak	0.60	10.5	(17.5)
RW_3	1.80	21.8	(12.1)

表4 複合材の曲げ弾性率の予測結果

供試材	計算値(a)	実測値(b)	精度(a/b)
Beech, RW_3	13.6	14.0	0.97
Oak, RW_3	12.2	12.6	0.97

表5 木材および複合材の曲げ特性

No.	供試材	比重 [g/cm ³]	曲げ強さ [N/mm ²]	(比強度)	曲げ弾性率 [kN/mm ²]	(比弾性)
1	Beech, RW_3	0.79	142	(180)	14.0	(17.7)
2	Beech	0.63	124	(197)	12.0	(19.0)
3	Oak, RW_3	0.78	151	(194)	12.6	(16.2)
4	Oak	0.63	114	(181)	10.3	(16.3)

このことから、FRPの強度を最大限に発現するように最外層にFRPを配置しなければ、効果的な強度向上は見込めない。

複合材の曲げ弾性を等価断面法により推定した結果を表4に示す。

なお、曲げ弾性は下式より求めた。

$$E = \sum E_i I_i - n n' / I$$

E : 積層材のヤング係数

I : 積層材の中立軸に関する断面2次モーメント

E_i : 各層のヤング係数

I_i - n n' : 積層材の中立軸に関する各層の断面2次モーメント

各複合材ともに推定値と実測値は一致していることから、積層複合材の曲げ剛性を予測できることが分かった。また、弾性範囲においては、試験体とFRPの層間の接着力に問題はないと考えられる。

表5にブナ材(No.2)およびナラ材(No.4)の曲げ強さおよび比弾性を、No.2、4を用いた複合材(No.1、No.3)の曲げ強度および曲げ弾性率を示す。ブナ材およびナラ材ともに、複合化によりその比弾性は小さくなった。つまり、樹種によって、ガラス繊維との複合化においては複合化に伴う弾性の劣化

に留意しなければならない。

また、No.1およびNo.3ともにNo.2およびNo.4に比べて、曲げ強度は増加したが、複合材の複合則 ($\sigma_c = V_A \cdot \sigma_A + V_B \cdot \sigma_B$) により算出される曲げ強さの推定値、“No.1=170”、“No.3=161”に比べて、小さかった。試験体とFRPの層間の接着力が足りず、層間せん断破壊となったため、強度低下をもたらしたと考えられる。

また、No.1の比強度は、No.2のそれよりも劣ったが、No.3の比強度では、No.4のそれよりも高くなった。これは、素地となるブナ材とナラ材を比較したとき、材表面の道管への投錨効果の相違によるものと考えられる。

4. まとめ

繊維配向性を有するRWなどの強化材を用いる場合、FRPの単層材では強度に乏しいが、複数積層により強度を向上させた。また、各強化材のうち、RWは樹脂含浸が一部に不足しているものの、CMに比べ高い強度を示した。GWは僅かにRWよりも高い弾性を示したが、ハンドレイアップ法-ホットプレス成形においてはRWを用いることが最適であった。

積層による複合化において、その曲げ弾性率が予測できることから一部設計が可能である。また、木材とFRP間の接着力の不足により、FRPにより付加される強度を最大限発現できなかったが、ナラ材では材表面の投錨効果がえられ、総体的に軽量かつ強度の高い複合材を開発できた。接着力の改善あるいは、材界面の改良により、さらなる高機能材料が期待される。但し、FRPの片面積層では、材に歪みが生じやすくなることに留意しなければならない。

また、ブナ材のように高弾性の材料を用いる場合、その複合材の比弾性は木材よりも低くなった。

文献

- 1) 柳川靖夫：木材学会誌，Vol.40，No.12，pp.1341-1347，1994.
- 2) 林 知行ほか：材料，Vol.51，pp373-378，2002.
- 3) 社団法人強化プラスチック協会：誰でも使えるFRP，2002.
- 4) Thomas WITTEKほか，*J. Text. Eng.*，Vol.54，pp157-164，2008.

高齢者に配慮した生活用具の開発（第2報）

宮川成門^{*}、木村公久^{*}

Development of life tools that consider the aged (II)

Naruto MIYAGAWA^{*} and Kimihisa KIMURA^{*}

高齢者の身体寸法に対してテーブル・椅子の高さが高すぎる場合の問題を解決する福祉用具の検討を行った。福祉施設用テーブル・椅子の寸法調査、高齢者の身体寸法調査、公共空間での使用状況調査の結果、同一テーブルに人が集まれる事をコンセプトに、テーブル面を基準高さとした座位姿勢調整用の補助椅子と足置き台の試作を行った。試作品の着座テストの結果、テーブルと椅子の差尺の改善、座位姿勢の改善を行うことができた。

1. 緒言

日本の総人口に占める高齢者人口（満65歳以上）の割合が5人に1人となった現在、老年期においていかに健康で自立した生活を送ることができるかが重要な課題となっている。高齢者の健康増進や介護予防、機能回復を目的とした支援が全国的に実施されているが、自立支援や介護者の負担軽減の面からも福祉機器・用具の役割は重要であり、高齢者の身体特性や利用者のニーズに添った用具の開発および実用化が求められている。

本研究では昨年度、利用者や介護者のニーズについて高齢者施設を訪問し調査を行った。その中で、高齢者の身長に対して、テーブル・椅子の高さが高すぎるという問題が何件も見られた。こうした不具合があると食事の姿勢に負担が生じたり、さらに悪い場合は自分で食事ができないという問題が生じてしまう。この改善策については、昨年度の調査の中で足置き台を使用するといった簡単な方法でも効果があることが分かっているが、それだけではテーブルとの高さ調整が解決していない。そこで今年度はこうした事例も参考にして、椅子、テーブルの高さ調整を目的とした福祉用具の開発を行ったので報告する。

2. 事前調査

今回対象とするユーザーである、『テーブル・椅子の高さが高すぎる状態』にある高齢者とは、図1のように、足が床から浮いていたり、足置き台やクッションで座位を調整している人である。こう

した問題がなぜ見られるのか、開発の事前調査として、福祉施設向けの椅子座面高さ寸法、テーブル高さ寸法のカatalog調査を行った。



図1 椅子・テーブルが高すぎる状況

この結果、表1, 2のとおりテーブル高さは9社115商品中700mmが38商品と最も多く、座面高さは10社120商品中420mmが30商品と最も多かった。なお、テーブル・椅子とも高さオーダー可能な商品が多いが、購入する側が何mmにすればよいのか分からない場合、基本寸法のまま購入すると想定したためカatalog記載の基本寸法でカウントした。テーブルのアジャスター金具や昇降金具が付いたものは最低高さでカウントした。

以上のことから福祉施設用家具でも、その寸法は成人男性を対象とした家具と大差がなく、現在の高齢者の多くには大きすぎるといえるため¹⁾、何らかの寸法調整の必要性があると考えられる。

^{*} 試験研究部（生活支援機能研究室）

なお、座面奥行きについてはカタログに記載されていなかったが、施設調査において「座面の奥行きが深すぎるので背が背もたれに届かない」という状況があったため、合わせて検討する必要性がある。

表1 テーブル高さ(mm)別の商品数－9社115商品－

甲板高	600	650	66	670	680	700	720	730	750	770
商品数	3	11	3	5	26	38	22	2	4	1

表2 座面高さ(mm)別の商品数 －10社120商品－

座面高	320	330	340	350	360	370	380	390	400
商品数	1	1	1	1	2	2	7	1	11

410	415	420	425	430	435	440	445	450	460
6	9	30	10	11	3	19	1	2	2

3. 設計

3.1 問題点・コンセプト・機能案

椅子・テーブルの高さは、全くの個人使用の場合、その人の寸法に合わせることで解決するが、共用の場合、ある人に高さを合わせれば、別の人には合わなくなるといった問題が生じる。

昨年度、足置き台を用いるなどの簡単な対応でも効果があることが分かったが、それだけではテーブル高さの調整に対応できなかったため、問題の整理を行い開発用具の機能検討を行った。

○問題点

図2のように、テーブル・椅子高さが高い場合、椅子の脚を切るなどの対応を行うと、テーブルがさらに高くなり、他の人との目線高さの違いも大きくなる。次にテーブルの脚も切るなどの対応を行うと、車いすの肘掛けが入らなくなる。実際、施設調査の中で、「椅子やテーブルの脚を切ったが、また別の不具合が出てしまった。」という話もあった。

○コンセプト

そこで今回の開発コンセプトとして、車いす使用者、椅子使用者、体の大きい人・小さい人が生活する公共の空間において、同じテーブルに集い、快適に食事等が行える方法を検討することとした。

○機能案

図3のように、テーブル・椅子が高い場合、テー

ブルの共用を想定し、テーブル高さを基準としてクッションと足置き台などで座位の高さ調整を行う。または座面の高さをあらかじめ高めに設定して足置き部分を取り付けた椅子や、座面と足置き部分の高さが調整できる椅子を用いる。これにより同じテーブルを使用していても、座位の高さ調整が可能で、姿勢が安定し、目線高さに大きな違いが生じることもないと考えられる。

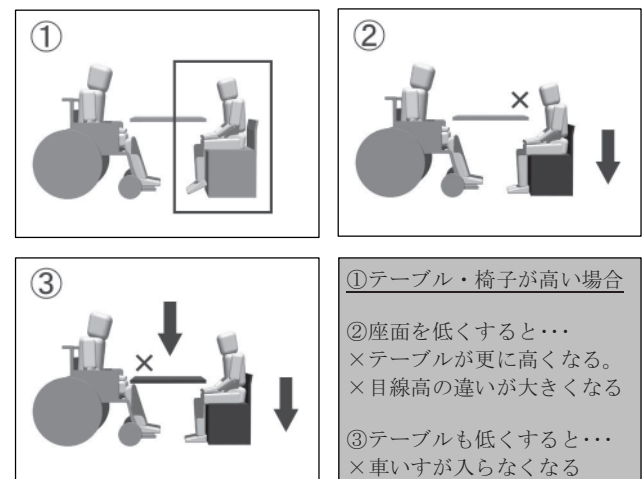


図2 問題となる例

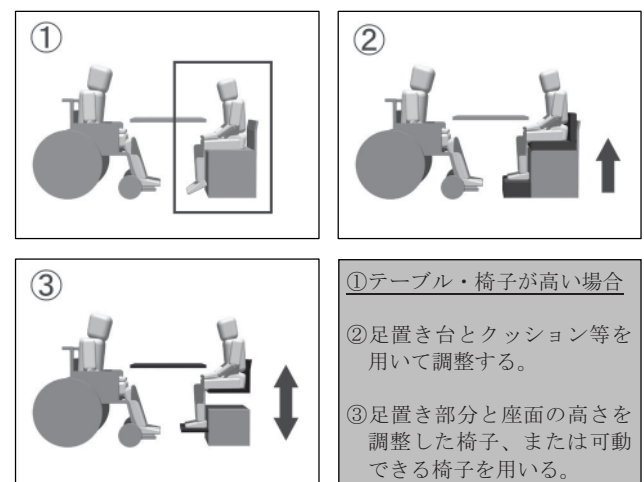


図3 機能案

3.2 使用条件設定

上記機能案から具体的に開発を行うにあたり、使用環境、使用者、使用の効果について次のように設定した。

○使用環境：主に高齢者施設等の様々な人が集う公共の場

○使用者：テーブル・椅子の高さ調整を必要とする人で、介助者の介助の上、着座起立を行う人。

○使用効果：座位の姿勢が安定し、食事等の作業が行いやすくなる。様々な人が同じテーブルに集い食事ができる。

3.3 デザイン案

次に具体的なデザインの検討を行った。今回のように、テーブル高さを基準として、座位の高さ調整が必要となる使用対象者の最も目立つ例に幼児が挙げられる。幼児の座位調整がどのように対応されているのか商品を探すと、ブースターチェア（椅子の上に置ける補助的な椅子）やハイチェア（足置き部分を取り付けた座面高の高い椅子）、高さ調整椅子（座面と足置き部分の高さを変えられるもの）等が思い当たる。高齢者は幼児ほどの大きな差尺調整は必要ではないので、寸法の設定等に配慮は必要であるが、こうした商品参考とすることとした。以上のことから図4のような、ブースターチェアタイプ、ハイチェアタイプ、高さ調整タイプのデザイン案を作成した。

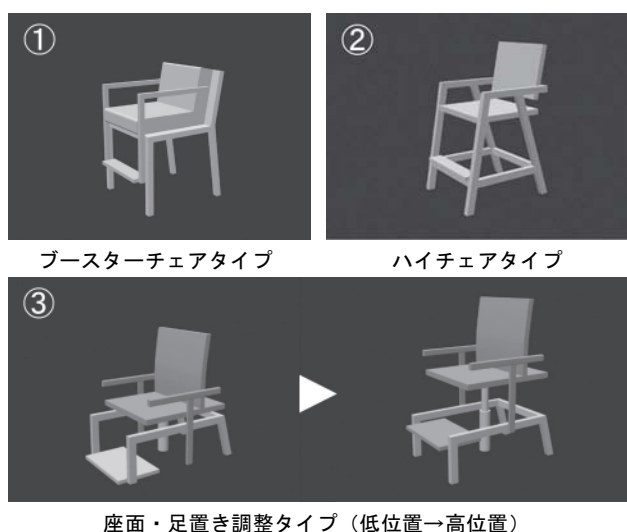


図4 デザイン案

4. 試作

4.1 第1試作・着座テスト

図5は、[3.3デザイン案]で示した①のブースターチェアタイプをもとに試作したものである。単体の椅子としての使用ではなく、既存のダイニングチェアなどに取り付けて（背もたれにベルトをまわして固定）使用することを想定している。座椅子のような形状の座部に、足置き部分を取り付け一体のデザインとして、持ち運びやすさに配慮した。これにより、テーブルの高さとのバランスが良くなるように座と足を高い位置に設定できる。

また、座面の奥行きについても短くし、背が背もたれに届くようにした。

寸法設定は、[2. 事前調査]において調査した家具寸法の中で最も多かった、テーブル高さ700mm、座面高さ420mm、の家具がある場面を想定し、70-79歳の平均的身体寸法の女性が用いるという条件で、各身体部位の寸法データ¹⁾を参考に行った。なおテーブルと椅子の差尺計算も同条件で座高×1/3を目安として設定した²⁾。

図6は試作品の効果について着座テストを行った様子である。この時テーブル高さ640mm、座面高さ420mmのものを使用している。座面から足置き部分までの距離、座の奥行き、テーブルとの差尺など寸法設定に大きな問題は見られなかったが、数十mmの座面高の上乗せが原因で、着座へのアクセス動作が想定していた以上に困難となってしまった。試作品は、持ち運びなどを考慮し、足置き部分を一体にしたデザインとしていたが、結局アクセスの際には別に足置き台を用いて、一旦その上に乗ってから座するという動作が必要であった。



図5 第1試作



図6 着座テスト

4.2 第2試作

図7は第1試作の結果から、補助椅子と足置き部分を別にした第2試作である。寸法設定は第1試作と同様にテーブル高さ700mm、座面高さ420mmの場面を想定し、70-79歳の平均的身体寸法の女性が用いるという条件で行った。なお図8が今回の第2試作までを終えた最終的な設定寸法である。



図7 第2試作

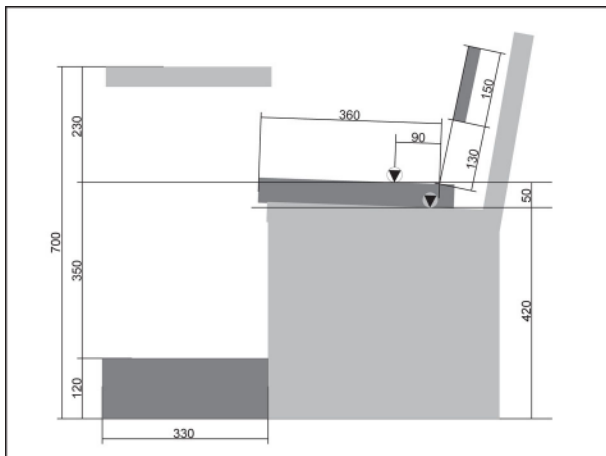


図8 設定寸法 (色の濃い部分が試作椅子)

4.3 第2試作着座テスト

第1試作の時と同様に着座テストを行った。まず課題となっていた着座起立のアクセス動作が容易であるかの確認を行った。図9がアクセス時の様子である。足置き台に乗るといふ行為がどの程度危険性があるかが心配であったが、施設では介護者のサポートの上で起立着座を行うこともあり、問題無く行うことができた。



図9 (左) 着座 (右) 起立

次に姿勢の確認を行った。使用したテーブルは高さ700mm、椅子の座面高さは420mmとした。確認した姿勢は、①座面高420mmの椅子に普通に腰かける、②その状態から深く腰かけ直す、③試作品を使用した状態の3種類で、体と椅子の接地面を確認するために体圧分布測定を行った。①②③の様子をそれぞれ図10、11、12に示す。

人が椅子に腰を掛ける時の最初の姿勢は、両脚が床に着いた状態となる。①の場合は両脚は付いているものの、膝関節に対して座面の高さがかなり上にあるため臀部の支持面が小さく、背もたれも全く機能していないことが分かる。この状態で

は不安定であるため②のように座面奥まで座った状態にすると、今度は足が浮いてしまう。なおこの状態でもまだ背もたれに背が触れていない。③の試作椅子を用いた状態を見ると、①②に比較して足、座、背がバランス良く接していることがわかる。テーブルの高さに関しても①②の場合、テーブルが胸あたりまでであるため、食事動作時に肩や肘の動きを妨げることが想像されるのに対し、③は腹部付近まで高さを調整することができている。

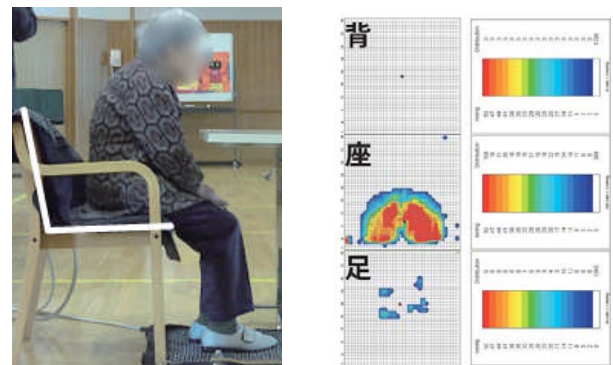


図10 ①座面高420mmの椅子に普通に腰かける

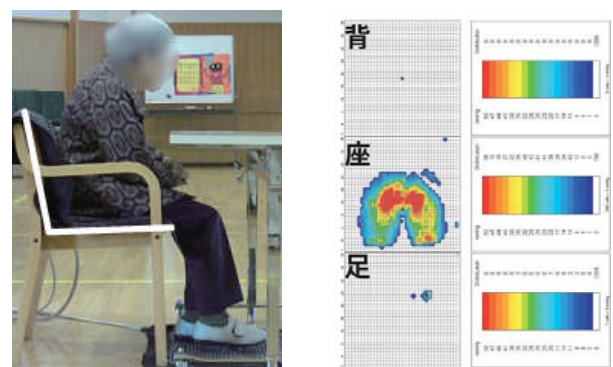


図11 ②上の状態から深く腰かけ直す

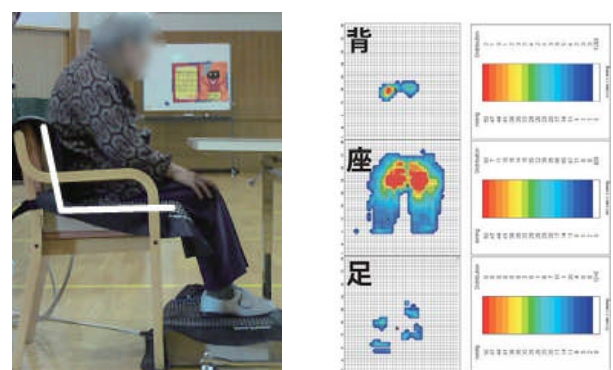


図12 ③試作品を使用した状態の姿勢

5. まとめ

今回の研究で次の事が確認できた。

- 1) 現在の高齢者にとって、テーブル・椅子の高さが高すぎるという問題は、家具カタログ調査と高齢者の身体寸法調査から、一般的に生じる問題であることが確認できた。
- 2) 体の小さい高齢者が、車いす使用者と同じ高さのテーブルを使用するには、補助椅子と足台を用いた座高の調整が有効であることを確認した。
- 3) 試作した補助椅子は高齢者の身体寸法に配慮することで、椅子と身体の接地面が大きくなり、安定した姿勢になることを確認した。

今後は別のデザイン案についても検討していく予定である。

謝辞

本開発の推進にあたり、ご協力をいただきました施設職員ならびに看護師、利用者の方へ感謝いたします。

参考文献

- 1) 日本人の人体寸法データブック2004-2006：社団法人人間生活工学研究センター.
- 2) 小原二郎 内田祥哉 宇野英隆 編，建築・室内・人間工学：鹿島出版会.
- 3) 木村公久ら：岐阜県生活技術研究所研究報告，No.10，pp20-23，2008.

木製家具における伝統技術の解明 — 曲げ木工程の指標化（第3報） —

石原智佳*

Study on traditional craft for wooden furniture Standardization of the bent wood - making process (III)

Chika ISHIHARA*

家具製造工場における木材の高周波乾燥の工程で生じる木材内部の焦げを解消し、均質な製品を仕上げるために、最適な乾燥条件を見出すことを目的として、小型高周波加熱乾燥装置を用いて、高周波印加電力量や乾燥時間の設定条件を検討した。

- (1) 高周波乾燥の際の材への加熱効率は初期含水率、密度により異なることが明らかになった。
- (2) 材端部と中心部で高周波乾燥時の昇温傾向がばらつき、材内部の焦げの一因と考えられる。
- (3) 高周波乾燥過程における材の内部と表面部での温度上昇傾向が異なることが明らかになった。

1. 緒言

飛騨家具には昔から曲げ木技術が取り入れられ、丈夫で美しい木製家具が数多く生み出されてきた。曲げ木技術は職人の経験と勘に深く基づいており、技術継承が難しく、近年では後継者不足が深刻化してきている。そこで、経験によらずとも誰もが加工を行うことができ、また不良率を低減できる曲げ木工程の条件の見出しが求められている。

現状の曲げ木工程で改善すべき課題として、高周波乾燥による焦げ、高周波乾燥後の材含水率のばらつきや乾燥不足を報告してきた⁽¹⁾。

前報⁽²⁾で、高周波乾燥中の材内温度の測定や乾燥条件と仕上がり状態との相関性の検討を行ったところ、焦げる温度とその時間との関係性や、高周波乾燥と余熱乾燥の組み合わせの有効性を見出した。また、小型高周波加熱乾燥装置を用いた乾燥実験から、乾燥に必要な熱量が計算値とほぼ一致することがわかった。

本報では、高周波発振電力量の最適な設定に関する検討を行った。

2. 小型高周波加熱乾燥装置による実験

トランジスタ発振方式高周波加熱乾燥装置（山本

ビニター（株）製）RHT-1型を用いて、各種含水率に調製した材を、家具材に適した含水率11%程度にまで乾燥するのに最適な乾燥条件の見出しを検討した。本装置の発振周波数は13.56MHz、高周波出力は0~3000Wの範囲で任意に調整できる。

高周波発振時の材の温度測定には、光ファイバー式温度計 ReflexTM（Neoptix社製）を用いた。なお、温度計センサー部の直径は3mmであり、測定部分に3.5mmの穴を開けた。

2.1 材料

樹種はナラ（*Fagaceae Quercus crispula* Blume）で、縦・横4cm、長さ（繊維方向）35cmの角材を用いた。材の含水率（MC）は、試料と繊維方向に連続する部分から切り出した立方体を温度105℃で24時間乾燥した状態を全乾状態として、全乾法にて求めた。表1に実験で用いた材の情報を示す。なお、初期含水率は所定の重量になるまで材を水に漬ける方法で調整した。

2.2 高周波発振出力の計算

高周波乾燥に必要な熱量は顕熱と潜熱の和であり、次式により求める。

顕熱 (cal) =

$$[\text{木材全乾重量(g)} \times \text{木材比熱(cal/g} \cdot \text{K)} + \text{含水重量(g)} \times \text{水比熱(cal/g} \cdot \text{K)}] \times \Delta T(\text{K})$$

* 試験研究部（生活支援機能研究室）

潜熱 (cal) =

〔目標脱水重量(g)×蒸発潜熱539(cal /g)〕

乾燥に必要な熱量 (cal) = 顕熱+潜熱

ここで、1 kcal = 1.163 Wh より、1時間あたりに要する出力が求まる。なお、木材比熱は0.3とし、 ΔT は乾燥前と最高温度の差である。

表1 実験材の各情報

材No.	1	5	6	7
推定全乾重量 (g)	363	404	417	440
22%MC重量 (g)	442	492	509	536
11%MC重量 (g)	402	448	463	488
11%MC密度(g/cm ³)	0.64	0.71	0.74	0.78

材No.	2	3	4
推定全乾重量 (g)	402	421	439
22%MC重量 (g)	491	513	535
20%MC重量 (g)	483	505	526
18%MC重量 (g)	475	496	518
11%MC重量 (g)	446	467	487
11%MC密度(g/cm ³)	0.71	0.76	0.78

2.3 初期高周波発振出力の検討

材温は100℃を超えた時点から急速に昇温し、焦げの要因となるため、材温が130℃前後に至ってからは、温度を保持できる出力に下げる2段階出力での乾燥の有効性を前報⁽²⁾で報告した。本報ではまず、適当な出力における温度上昇傾向を観察した。用いた材はNo.1で、初期含水率は22%であった。また、材内の温度測定は図1に示す箇所の深さ中心部で行った。図2に200W出力時、図3に300W出力時の温度上昇傾向を示す。なお、2.4にて詳説するが、材と電極板の間に網目状のアルミ板を挟んだ状態で乾燥を行った。

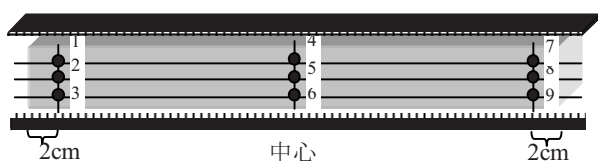


図1 温度測定箇所

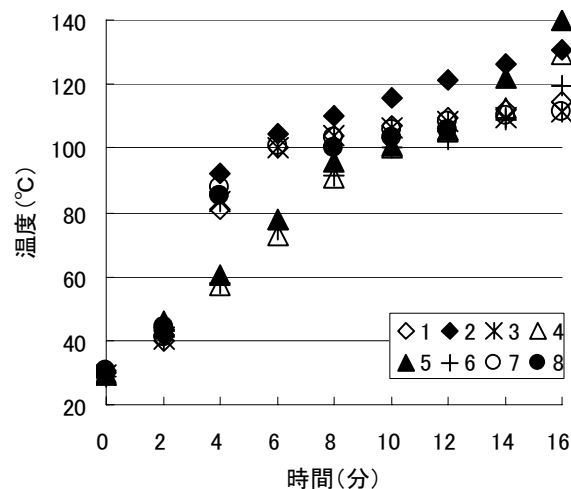


図2 200W出力における温度変化

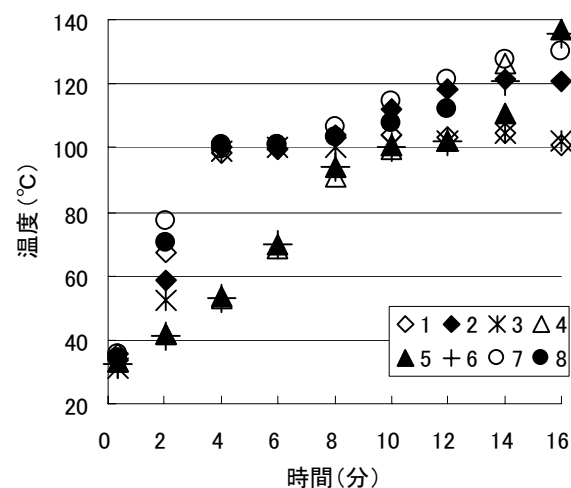


図3 300W出力における温度変化

乾燥初期の温度上昇は、材端部で300W出力時の方がやや速いが、材中心部においてはほとんど差がなく、両条件ともに発振後ほぼ14～15分で材高さ中心部（測定箇所：2、5、8）の温度が130℃に至った。したがって、初期段階の高出力での乾燥は200～300Wで14～15分とし、その後は低出力にすることが望ましい。なお、低出力では温度上昇を抑え、かつ降温し過ぎないような電力を要し、各種出力の検討から、100Wが望ましいと判断した。そこで、下記の実験では100W出力の発振時間を調整することで乾燥条件を設定した。

2.4 材と電極板間のアルミ板の有効性

前報⁽²⁾での実験では、材の上下が電極板に密接した状態で高周波を発振していたが、発振終了時にも密接部分に水分が残存していたため、これが加熱効率や乾燥程度に影響していたと考えられる。そこで、材と上下の電極板との間にアルミの

網目状板（厚さ：2mm）を置くことによる空気層の有無の効果を検討した。用いた材はNo.1で、乾燥条件及び結果を表2に示す。

加熱効率（投入熱量に対して、実際に乾燥に要した熱量の割合）は、アルミ板を置くほうが良く、より効率的に乾燥が進むと考えられる。なお、乾燥に要した熱量計算に用いた ΔT は乾燥開始時と最高温度時の材全体の平均温度の差とした。温度上昇傾向は両者で類似しており、後述の実験はすべてアルミ板を置く条件で行った。

この形状の材を含水率 22% から 11% 程度まで乾燥させるには、加熱効率は 50% 付近に設定することが望ましいようである。

表2 アルミ板の有効性検討：乾燥条件及び結果

時間	発振出力	投入熱量
0～14分	200W	46.7Wh
～28分	100W	23.3Wh
計	—	70Wh
	アルミ無し	アルミ有り
乾燥前含水率	22%	22%
冷却後含水率	13.7%	12.7%
平均温度の変化	17.6→115℃	17.2→115℃
実質加熱効率	57%	60%

2.5 初期含水率と乾燥条件

曲げ木工程は「蒸煮」「曲げ」「高周波乾燥」「冷却」「養生」の5工程から成る。蒸煮過程で材を気乾状態から含水率18～22%にし、高周波乾燥及び冷却過程を通して、含水率11%程度にする。しかし実際は、9～10%程度への過乾燥や、15%程度までの乾燥不足の材が多く見られる。過乾燥材には内部の焦げや割れ、乾燥不足材には変形の戻り等の問題が現れた。そこで、初期含水率が乾燥状態に及ぼす影響を検討した。用いた材は表1に示すNo.2、3、4である。

乾燥条件1 初期含水率22%→目標含水率11%

No.2、3、4の材を用いて比較検討した。現場の工程を考慮すると、乾燥時間は短くかつ仕上がりはきれいな状態であることが望ましい。そこで、加熱時間ができるだけ短くなるよう、高周波発振第1段階の出力は250Wと、やや高めに設定した。必要な熱量は項目2.2で述べた式から求めた。実験条件及び結果を表3に示す。最初の実験の熱効率は55%と設定した。結果として、No.3と4の材ではや

や乾燥不足であった。そこで、熱効率を52%としたところ、No.3でやや乾燥が進みすぎたが、No.4では程良い乾燥状態となった。

表3 含水率22%からの乾燥条件及び結果

材No.	2	3	4
密度 (g/cm ³)	0.71	0.76	0.78
熱効率(%)	55		
出力条件			
250W	15分		
100W	17分55秒	20分30秒	23分
加熱後MC(%)	11.6	12.0	12.6
熱効率(%)	52		
出力条件			
250W	—	15分	
100W	—	24分	26分30秒
加熱後MC(%)	—	10.4	11.2

図4にNo.2（熱効率：55%）、図5にNo.3（熱効率：52%）、図6にNo.4（熱効率：52%）の乾燥過程の材内の温度変化を示す。図中の番号1～8は温度測定箇所であり、図1のとおりである。

同じ熱効率で加熱時間を設定すると、密度が高い材ほど加熱後の含水率が高くなる傾向が見られた。すなわち、高密度な材ほど、初期含水量が多く、より多くの減水を必要とし、その分多くの熱を要する。しかし、実際の現場では、密度による振り分けはなく、さらには蒸煮後の含水率、すなわち乾燥開始時の含水率にもばらつきがあることから、材密度や蒸煮後の含水率などが乾燥の

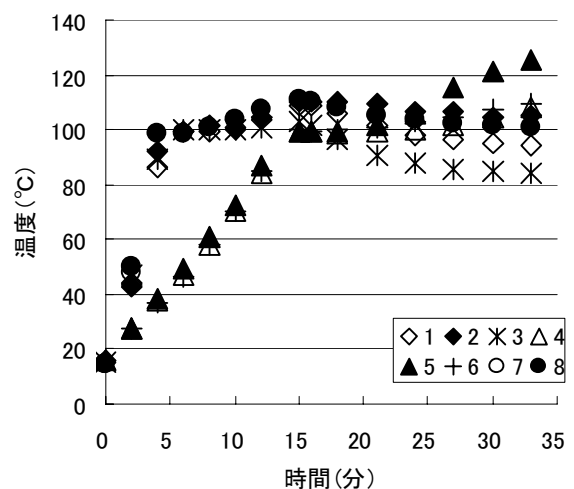


図4 MC22%からの乾燥過程の材内温度（材No.2 熱効率：55%）

仕上がり状態に影響していると考えられる。また、材密度は熱効率にも影響すると考えられ、以降の実験において、初期含水率及び密度が乾燥程度に及ぼす影響を検討する。

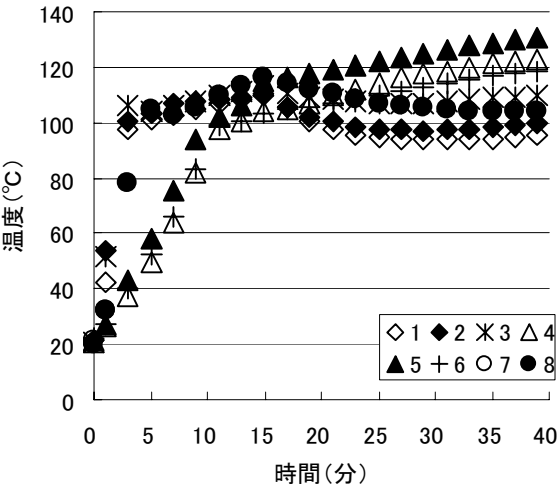


図5 MC22%→11%乾燥過程の材内温度
(材No.3 熱効率：52%)

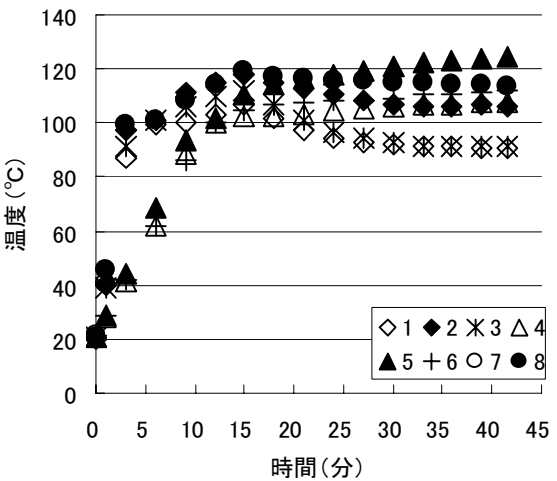


図6 MC22%→11%乾燥過程の材内温度
(材No.4 熱効率：52%)

乾燥条件2 初期含水率20%→目標含水率11%

No.2、3、4の材を用いて比較検討した。実験条件及び結果を表4に示す。

乾燥条件1と比べて初期重量が減少する分を考慮し、高周波発振1段階目の出力を200Wに下げて検討した。熱効率55%の設定ではNo.4の材でやや乾燥不足という結果になり、この材に関しては熱効率を52%と下げて再検討した結果、程良い仕上がりになった。

図7にNo.2（熱効率：55%）、図8にNo.3（熱効率：55%）、図9にNo.4（熱効率：52%）の乾燥過

程における材内の温度変化を示す。なお、温度測定箇所は図1に示すとおりである。

表4 含水率20%からの乾燥条件及び結果

材No.	2	3	4
密度 (g/cm ³)	0.71	0.76	0.78
熱効率(%)	55		
出力条件			
200W	15分		
100W	19分	21分15秒	23分30秒
加熱後MC(%)	10.8	11.0	11.9
熱効率(%)	—	52	
出力条件			
200W	—	15分	
100W	—	16分40秒	26分30秒
加熱後MC(%)	—	10.2	11.3

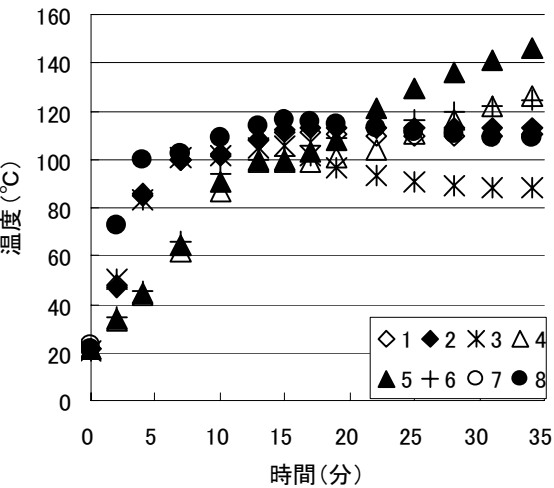


図7 MC20%→11%乾燥過程の材内温度
(材No.2 熱効率：55%)

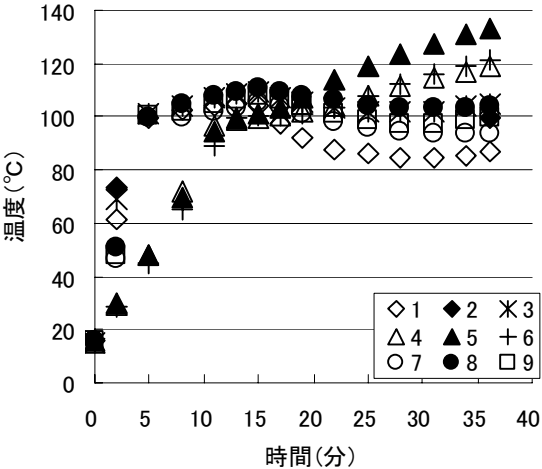


図8 MC20%→11%乾燥過程の材内温度
(材No.3 熱効率：55%)

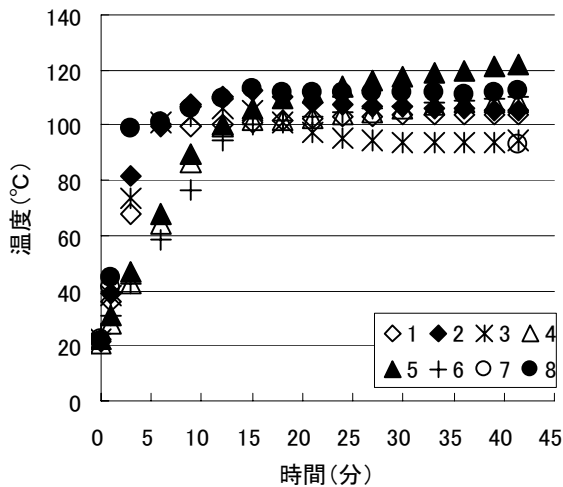


図9 MC20%→11%乾燥過程の材内温度
(材No.4 熱効率：52%)

乾燥条件3 初期含水率18%→目標含水率11%

No.2、3、4の材を用いて比較検討した。実験条件及び結果を表5に示す。初期含水率が18%にまで低下すると、熱効率55%や52%の設定では、過乾燥となったため、60%設定に引き上げ再検討したところ、程良い仕上がり含水率となった。

表5 含水率18%からの乾燥条件及び結果

材No.	2	3	4
密度 (g/cm ³)	0.71	0.76	0.78
熱効率(%)	60		
出力条件			
200W	15分		
100W	9分	10分45秒	12分30秒
加熱後MC(%)	11.3	11.4	11.6
熱効率(%)	55	52	
出力条件			
250W	15分	15分	
100W	13分	9分30秒	11分35秒
加熱後MC(%)	10.5	9.9	9.8

図10にNo.2（熱効率：60%）、図11にNo.3（熱効率：60%）、図12にNo.4（熱効率：60%）の乾燥過程における材内の温度変化を示す。なお、温度測定箇所は図1に示す。

乾燥条件1～3で検討した結果、初期含水率が高い場合は、熱効率は低くなると考えられ、乾燥には多めの熱を要する。そこで、高周波発振第1段階の出力も高めに設定することが必要と考えられる。また、密度が高くなると熱効率が低下する傾向が見られた。本報告で用いた材料間ほどの密度差で

も熱効率に数%の差が生じることから、現場の改良方法の一つに、密度が近い材を同時に加工処理することが挙げられる。

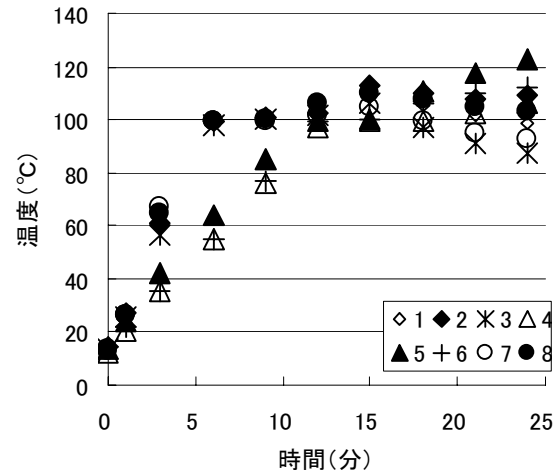


図10 MC18%→11%乾燥過程の材内温度
(材No.2 熱効率：60%)

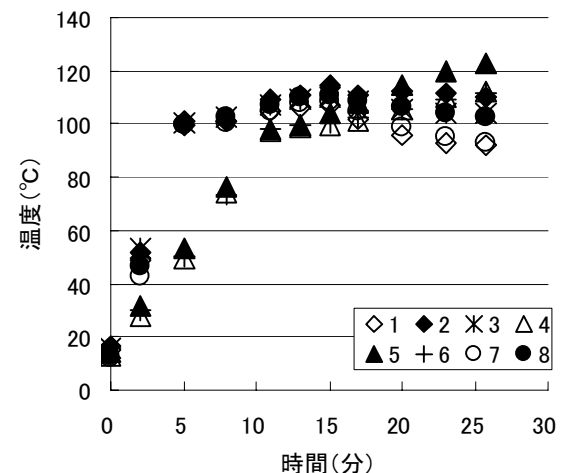


図11 MC18%→11%乾燥過程の材内温度
(材No.3 熱効率：60%)

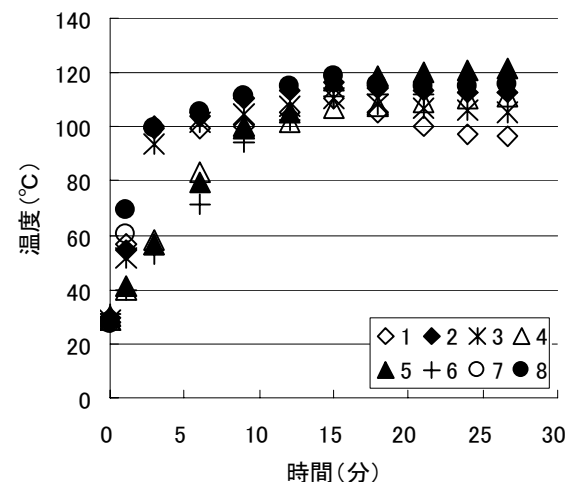


図12 MC18%→11%乾燥過程の材内温度
(材No.4 熱効率：60%)

高周波乾燥過程における材内温度の変化を図4から図12に示したが、いずれの場合でも、材温が100℃に達するのは材端部（測定箇所：1～3、7～9）で先行し、材中心部（同：4～6）は遅れながらも、100℃に達した後もそのまま昇温あるいは温度を保持し、特に5番箇所である中心は顕著に昇温し、一方、材上下部は降温する傾向が見られた。

これまでの現場の観察で見られた材中心部の焦げはこのような温度上昇傾向のばらつきに起因すると考えられ、次項において検討する。

2.6 表面温度と内部温度の関係

前項の高周波乾燥実験で材全体の温度変化を検討したところ、材温は一様に変化するのではなく、材端部から中心部の順に昇温していき、最終的に材中心部が最高温度に達する傾向が明らかになった。現場ではこの材中心部の焦げが不良品の一因となることから、材の中心部の温度が簡易に推測できる手法があることが望ましい。そこで、材表面部と材内部の温度変化の相関性を検討した。

材の表面温度の測定には赤外線サーモグラフィ装置サーモトレーサ（TH9260 NEC三栄）を用いた。用いた材はNo.5、6、7で表6に高周波乾燥実験の条件を示す。含水率22%から11%に乾燥させるに際し、前項の結果を参考に条件設定した。仕上がり含水率はいずれも望ましい結果となった。

表6 含水率22%からの乾燥条件及び結果

材No.	5	6	7
密度 (g/cm ³)	0.71	0.74	0.78
熱効率(%)	52		
出力条件			
250W	15分		
100W	21分20秒	23分20秒	26分40秒
加熱後MC(%)	11.2	11.1	11.2

図13にNo.5の材内部温度変化を、図14には同時に測定した材表面温度変化を示す。材内部温度が高くなり過ぎたため、材内部の中央付近でやや焦げが見られた。また、材内部が最高温度に達する発振15分頃の材表面温度はまだ60～70℃付近にしかなく、大きな差がある。

図15にNo.6の材内部の、図16に材表面の温度変化を示す。乾燥終了時の材内部はやや茶色化した

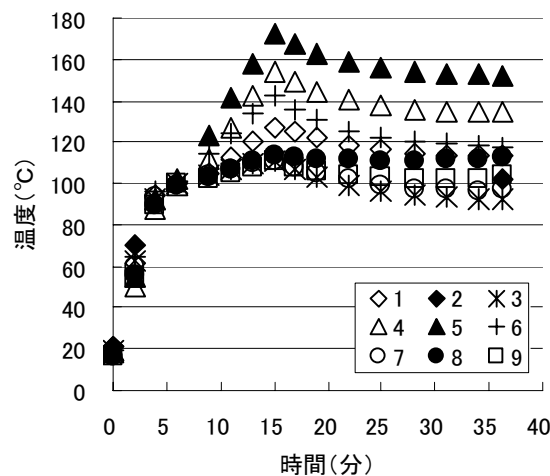


図13 MC22%→11%乾燥過程の材内部温度 (材No.5 熱効率：52%)

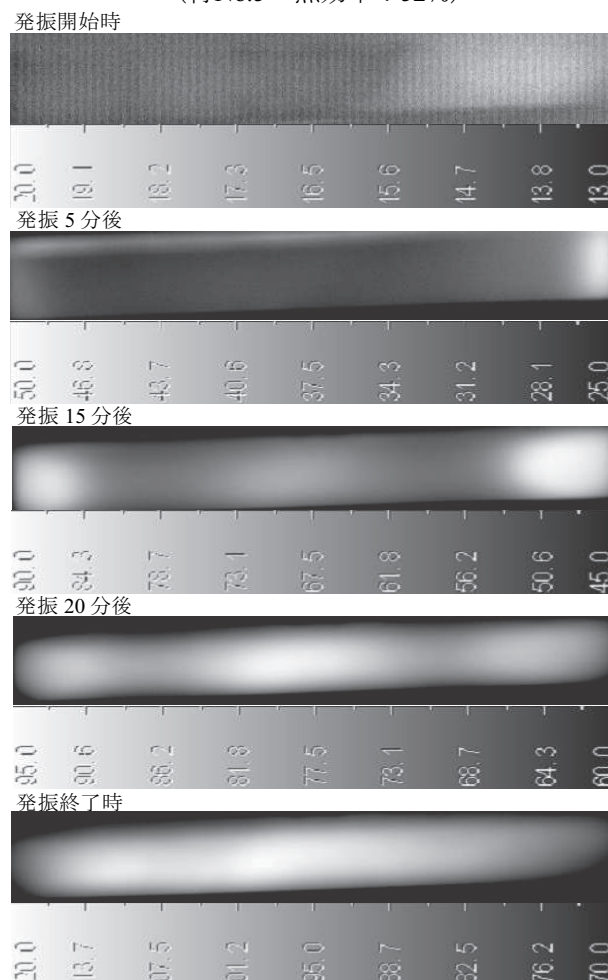


図14 MC22%→11%乾燥過程の材表面温度 (材No.5 熱効率：52%)

が、許容される程度であった。なお、材内部と表面部の温度には大きな差がある。

図17にNo.7の材内部の温度変化を示したが、表

面温度は最高温度時の発振15分後にも100℃程にしか至っていなかった。乾燥終了時の材内部には着色化も見られず、きれいな仕上がりであった。

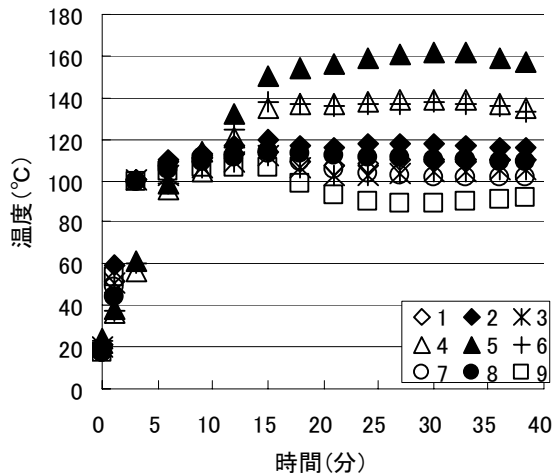


図15 MC22%→11%乾燥過程の材内部温度
(材No.6 熱効率：52%)

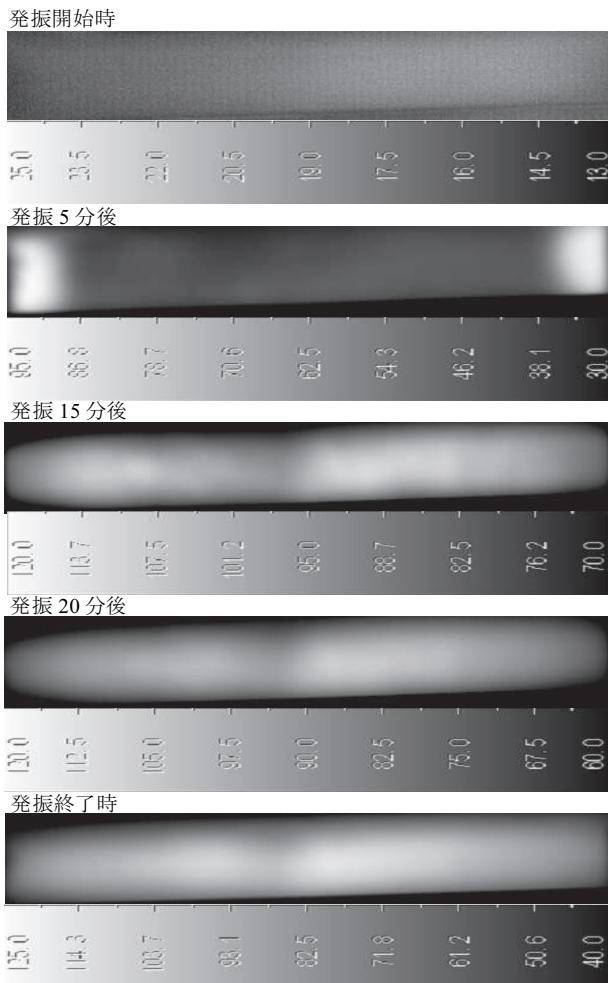


図16 MC22%→11%乾燥過程の材表面温度
(材No.6 熱効率：52%)

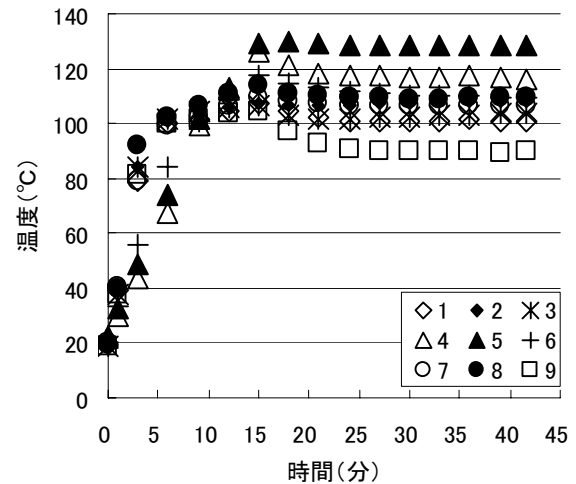


図17 MC22%→11%乾燥過程の材内部温度
(材No.7 熱効率：52%)

図14及び図16からわかるように、材内部、特に温度測定箇所4、5、6の位置の高温は材表面に直接表れない。材端部の温度は表面部と中心部と共にはほぼ一致しているようである。したがって、材表面の温度は空気に接する分、低温になり、110℃程度を超える温度は表面部では観測できないとも考えられる。そこで、材内部と表面部との温度の関係性の検討を深めることが今後の課題である。

3. まとめ

初期含水率が高い材や、密度が高くなる材では高周波乾燥での熱効率が低下する傾向が認められた。すなわち、乾燥にはより多くの熱を要する。そこで、複数本を同時に乾燥する際には似通った密度の材で初期含水率を同程度に揃えることが、乾燥後の含水率のばらつきを少なくする手法の一つと考えられる。

高周波乾燥時の昇温は材端部で先行し、材中心部は遅れながらも、100℃到達後は逆転し、材上下部ではやや降温する傾向が見られた。材内部の焦げはこの温度上昇傾向のばらつきに起因すると考えられる。

謝辞

本研究は、日進木工（株）の協力により行われたものである。ここに感謝の意を表します。

文献

- 1) 高橋智佳、長谷川良一：平成18年度 岐阜県生活技術研究所研究報告 No.9 pp.67-71.
- 2) 石原智佳、長谷川良一：平成19年度 岐阜県生活技術研究所研究報告 No.10 pp.34-40.

木質住環境の快適性評価に関する研究（第2報） 病室の室内環境が心理的に及ぼす影響評価

西垣康広^{*1}, 伊藤国億^{*1}, 成瀬哲哉^{*2}, 藤巻吾朗^{*2},
小川晴久^{*3}, 松井永子^{*4}

Study on comfortable evaluation of woody living environment (II)
Psychological effects of air conditon for isolation rooms in Gifu university hospital

Yasuhiro NISHIGAKI^{*1}, Kuniyasu ITO^{*1}, Tetsuya NARUSE^{*2}, Goro FUJIMAKI^{*2},
Haruhisa OGAWA^{*3} and Eiko MATSUI^{*4}

岐阜大学医学部附属病院の2つの病室を使用して、それらの病室の環境調査と人体への影響を心理指標（STAIの状態不安）から検証した。1室は調湿建材を内装に使用した病室（改修個室）であり、もう1室はそのままの病室（既存個室）である。

改修個室と既存個室の温度・湿度を測定した結果、温度・相対湿度共に類似した傾向を示したが、温度・相対湿度の変動幅は共に既存個室の方が大きいことがわかった。これは調湿建材の調湿機能が影響したためであると考えられる。

各個室におけるホルムアルデヒドとアセトアルデヒドの放散濃度は、厚生労働省が定める濃度指針値以下であった。室内環境が人に与える影響について心理指標（STAIの状態不安）により評価した結果、t検定による有意差は見られなかったが、既存個室にいる方が不安度が高くなる傾向が見られ、ヒノキを使用することにより不安度を抑制する傾向が見られた。

1. 緒言

最近の住環境は新しい建材や建築方法が導入され、快適性の追求により気密性は向上している。このため室内の湿気は逃げ場が無くなり、室温の低下に伴い結露し、これが原因で建築物が老朽化したり、ダニ、カビの繁殖によるアトピーなどのアレルギーが発生した。また、家具、家電製品などから放散されるホルムアルデヒド等が健康被害を引き起こし、シックハウス症候群が社会問題化した。このため健康で安全な室内環境の提供は必ずしも十分とは言えない。

近年、室内環境への関心は住宅だけでなく、学校、職域、病院、老人ホーム等様々な施設におい

て高まっている。病院も学校同様に耐久性、防火等の問題から鉄筋コンクリート造になり、病室の内装には調湿機能が無い石膏ボード、壁紙が施工されている。患者はゆとりや潤いを求めているが、これらの建材の使用ではそれらが期待出来ないのが現状である。

調湿建材を内装に使用した老人介護施設などでは、認知症の改善などが見られた、生き生きとしている等の報告があるが、これらは感覚的なものであり、数値的な裏付けはない。このため室内環境が人体に与える影響に関する研究¹⁻³⁾は、十分ではない。

そこで本研究では、岐阜大学医学部附属病院の2つの病室を使用して調湿建材を内装に使用した場合の病室の環境調査と人体への影響を心理指標（不安度）から検証した。また、調湿性能に加えてリラクゼーション効果が期待できる木材を内装材として使用した場合の人体への影響を検証した

^{*1} 試験研究部（住環境研究室）

^{*2} 試験研究部（シミュレーション研究室）

^{*3} 日本インシュレーション（株）

^{*4} 岐阜大学医学部

ので報告する。

2. 実験

2.1 実験場所

実験は岐阜大学医学部附属病院の共通個室で行った。共通個室は隣合わせで 2 室あり、1 室は内装に調湿建材（ゾノトライト系けい酸カルシウム板；日本インシュレーション（株）製）を使用した。この個室を以後「改修個室 A」とする。また、調湿建材の腰壁部分に岐阜県産ヒノキ材を使用した。この個室を以後「改修個室 B」とする。残りの 1 室は既存の石膏ボードが施工されている個室であり、これを以後「既存個室」とする。

2.2 実験期間

本実験は 2 回に分けて行った。第 1 回実験は改修個室 A と既存個室を使用して、調湿建材の調湿効果をより明確にするため、フレッシュエアーによる換気及び室内のエアコンは止め、平成 20 年 6 月 12 日～平成 20 年 7 月 2 日に行った。

第 2 回実験は実験被験者の体調面を考慮し、室内のエアコンを稼働させ、改修個室 B と既存個室を使用して、平成 20 年 7 月 10 日から平成 20 年 8 月 2 日に行った。ただし、エアコンで除湿された水蒸気は加湿器で補った。

2.3 実験方法

実験は 2 名ずつペアとなり、合計 12 名により行った。実験前夜を自宅で過ごし、翌日の午後から改修個室と既存個室に 1 日ずつ入った。実験後は再度自宅で過ごした。実験前後及び実験中の就寝前に STAI（State-Trait Anxiety Inventory：不安度をアンケートによって数値化するものであり、個人特性の不安度を示す特性不安とアンケート時の不安度を示す状態不安からなる）を行った。

2.4 測定

2.4.1 個室内温度・湿度測定

両個室の温度・湿度・風速の測定は温熱環境計（京都電子工業（株）製 AM-101）を使用し、外部の温度・湿度の測定はデータロガー（アズワン（株）製 おんどとり TR-72S）を使用して、30 分毎に行った。

2.4.2 個室内空気質測定

各個室の空気質測定は、厚生労働省室内空気中化学物質の標準的測定方法を参考にし、両個室共に 30 分間窓、ドアを開放して換気した後、5 時間窓、ドアを閉め切り、その後、アルデヒド類と揮発性有機化合物（VOC）の放散量測定を行った。いずれの測定も 2008 年 7 月に行った。

アルデヒド類の測定は、JIS A 1962 室内空気中

のホルムアルデヒド及び他のカルボニル化合物の定量—ポンプサンプリングに準じて、捕集管、（Sep-Pak DNPH Silica[short-type]）を用い、エアポンプで個室内空気を 0.34L/min の速度で 30 分間、10L 捕集した。分析条件は村田らの報告⁴⁾と同様にアセトニトリルで溶出後、HPLC でグラジェントをかけて分析した後、検量線により定量した。

VOC は JIS A 1966 室内空気中の VOC の吸着捕集／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じ、捕集管（Tenax TA）を用いておよそ 0.167L/min の速度で 30 分間、5L 捕集した。分析は村田らの報告⁴⁾と同様にして加熱脱着—GC/MS 法により行った。

3. 結果と考察

写真 1, 2 にそれぞれの個室における空気質測定の様子を示す。



写真 1 改修個室 B での空気質測定風景



写真 2 既存個室での空気質測定風景

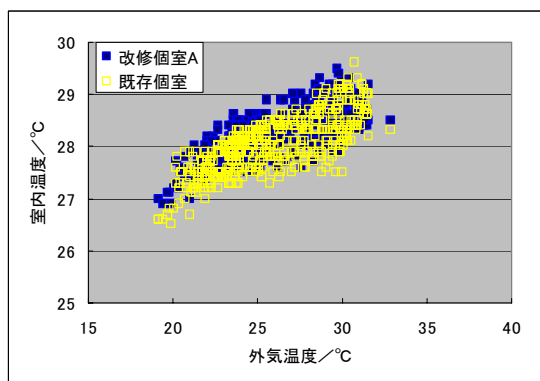


図 1 外気温度と各個室の温度

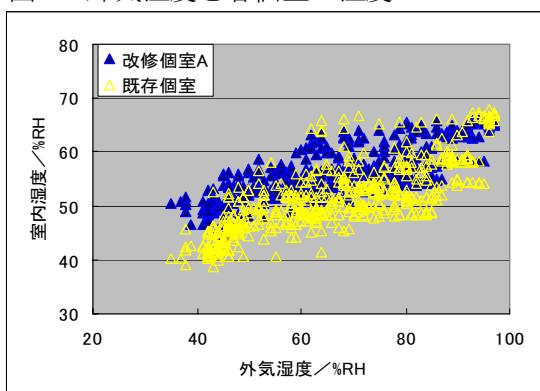


図 2 外気湿度と各個室の相対湿度

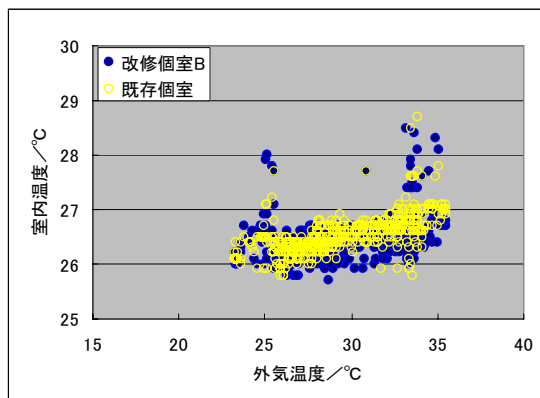


図 3 外気温度と各個室の温度

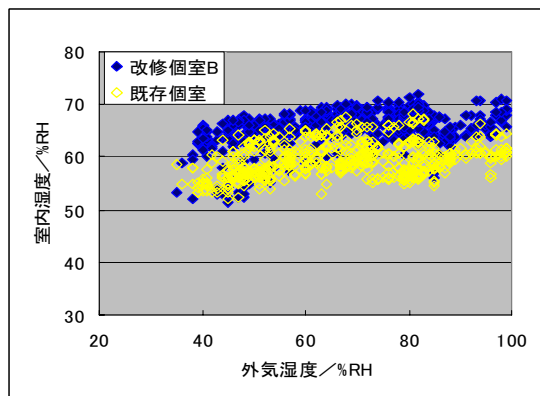


図 4 外気湿度と各個室の相対湿度

3.1 各個室の温度及び湿度

第 1 回実験、第 2 回実験における個室内の温度と外気温度、個室内の相対湿度と外気相対湿度の関係をそれぞれ図 1～4 に示す。

図 1 と図 3 から改修個室 (A, B) と既存個室の温度変動は類似していたが、個室内のその変動幅は既存個室よりも改修個室の方が小さかった。これは調湿建材の吸放湿作用が影響したためと考えられる。また、若干であるが改修個室 A の方が既存個室の温度よりも高い傾向を示した。これは使用した調湿建材が多孔質建材であるため、蓄熱したことが影響しているためであると考えられる。

図 2 と図 4 から改修個室 (A, B) の相対湿度は既存個室のそれよりも高かったが、個室内のその変動幅は、改修個室よりも既存個室の方が大きくなった。これも調湿建材の吸放湿作用が影響しているためであると考えられる。

室内環境に与える外気の影響は第 2 回実験よりも、第 1 回実験の方が明らかであった。これは第 1 回実験では空調、エアコンを使用しなかったためであり、第 2 回実験ではこれらを使用したことが影響していると考えられる。

3.2 個室内空気質

3.2.1 アルデヒド類

ホルムアルデヒドとアセトアルデヒドの定量結果を図 5 に示す。

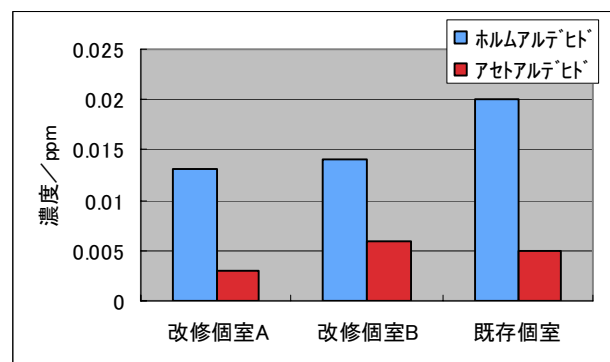


図 5 各個室におけるアルデヒド類濃度

ホルムアルデヒドの発生源は、接着剤、家電製品、マットレス、シーツ、布団などが考えられるが、改修個室 (A, B) でのホルムアルデヒド濃度は既存個室でのそれよりも低いことがわかった。これは改修個室で使用している調湿建材が多孔質建材であるため、ホルムアルデヒドを吸着したためと考えられる。また、アセトアルデヒドについても

ホルムアルデヒドと同様に発生源は不明であり、改修個室と既存個室においてアセトアルデヒド濃度にあまり違いは見られなかった。

ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド濃度は、それぞれ厚生労働省の定める濃度指針値である 0.08ppm、0.03ppm 以下であった。

3.2.2 揮発性有機物質 (VOCs)

アルデヒド類の測定と同時に VOC 放散量の測定も行い、GC/MS により分析した。改修個室(A,B)と既存個室の測定結果から 3 つのクロマトグラムは類似していた。調湿建材を使用した改修個室 A での VOC 放散量が少なく、既存個室での VOC 放散量が多かった。既存個室よりも改修個室において VOC 放散量が少ないのは、使用した調湿建材が VOC を吸着したためと考えられる。また改修個室 B からは木材由来の α -ピネンに由来すると考えられるピークが検出された。

3.3 STAI (状態不安)

各実験被験者の STAI の平均値を図 6 に示す。

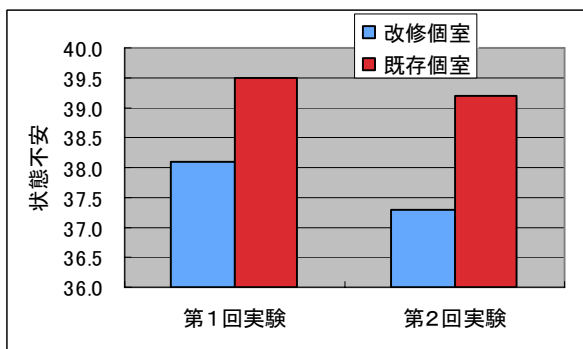


図 6 改修個室 A, B と既存個室における状態不安

第 1 回実験、第 2 回実験の結果について t 検定を行ったが、有意差は見られなかった。しかし、共に状態不安は改修個室(A,B)よりも既存個室の方が高くなる傾向が見られた。このことから調湿建材を使用して室内の温湿度環境をコントロールすることにより不安が軽減される可能性が示唆された。また、調湿建材単独での使用よりもヒノキを施工することによる影響について t 検定を行ったが、明らかな有意差は見られなかった。しかし、ヒノキを腰壁部分に施工することにより、不安度

が下がる傾向が見られた。木材の見た目、放散成分、調湿性能が不安抑制効果に影響を及ぼす可能性が示唆された。

4. まとめ

岐阜大学医学部附属病院の 2 つの病室を使用して調湿建材を内装に使用した場合の病室の環境調査と人体への影響を心理的項目から検証し、以下の知見を得た。

- (1) 改修個室(A, B)と既存個室の室内温度は、類似した傾向を示した。若干であるが改修個室Aの温度の方が高かった。これは調湿建材の蓄熱性能が影響したと考えられる。
- (2) 改修個室(A, B)と既存個室の相対湿度は、類似した傾向を示したが、変動幅は既存個室の方が大きかった。
- (3) 各個室におけるホルムアルデヒドとアセトアルデヒドの発生源は不明であるが、いずれの濃度も厚生労働省の示す濃度指針値以下であった。
- (4) 不安度の結果は第1回実験、第2回実験共に t 検定による有意差は見られなかったが、既存個室の方が不安度が高くなる傾向が見られた。また、ヒノキを使用することにより不安度を抑制する傾向が見られた。

謝辞

実験にご協力頂いた被験者の皆様ならびに岐阜大学医学部附属病院小児科病棟の皆様、岐阜大学医学部の折居健治先生、ご指導、ご助言いただきました岐阜大学医学部の近藤直実教授に感謝いたします。

参考文献

- 1) 宮崎良文, 木と森の快適さを科学する, 全国林業改良普及協会, 2002.
- 2) 太田ひろみら, 日本生気象学会雑誌, 45(2), 73-84, 2008.
- 3) 服部芳明ら: 木材工業, 46, 220-225(1991).
- 4) 村田明宏ら: 岐阜県生活技術研究所研究報告, 7, 42-44(2005).

木質住環境の快適性評価に関する研究（第3報） 実居住空間における木材の使用が人体に与える影響

藤巻吾朗^{*1}、成瀬哲哉^{*1}、西垣康広^{*2}、伊藤国億^{*2}、小川晴久^{*3}、松井永子^{*4}

Study on comfortable evaluation of woody living environment (III) Psychological and physiological effects of using woods in the actual living space

Goroh FUJIMAKI^{*1}, Tetsuya NARUSE^{*1}, Yasuhiro NISHIGAKI^{*2}, Kunihiro ITO^{*2},
Haruhisa OGAWA^{*3} and Eiko MATSUI^{*4}

実際の居住空間（病室）で室内空間に木材を使用することが人に与える心理的・生理的な影響を調査した。調査結果より、朝方および夕方の交感神経と副交感神経の活動が切り替わると考えられる時間帯で、木材を腰壁に使用した部屋は木材を使用していない部屋に比べて交感神経の活動が抑えられリラックスした状態であると考えられた。また、今回の実験では明らかになっていないが、室内環境に木材を使用することで睡眠にも良い影響を与える可能性があると考えられた。主観的な印象としては、木材を使用した部屋は、穏和で若々しい感じを与え、それが良い印象を与えていることが確認された。

1. 緒言

木材はぬくもりのある人にやさしい素材であり、木材の持つ香り、色合いや木目の美しさ、肌触りなど、人に良い影響を与える様々な効果があることが経験的に知られている。近年では、これらの効果が人の生理機能に及ぼす影響について検証されてきているが、まだ事例は少なく、さらなるデータの積み重ねが重要となっている。また、実際の居住空間での木材の使用が人に与える影響についての実証的な研究はほとんど行われていないのが現状である。そこで、本研究では、室内環境に木材を使用することが人に与える心理的・生理的な影響を実際の居住空間で調査した。

2. 方法

2.1 実験概要

実験には岐阜大学医学部附属病院の共通個室の1室（既存個室）と共通個室を改修した1室（改修個室）の2部屋を使用し、各部屋に24時間（14時から翌日14時まで）ずつ連続して滞在してもらった。被験者は12名（男性8名、女性4名）で、実験の際

は同じ期間に2名ずつ、1日目と2日目で部屋を交代してもらった。滞在期間中は各種アンケート調査や生理的な測定を実施した。

2.2 測定条件

- ①既存個室：岐阜大学医学部附属病院の共通個室で壁面に石膏ボードを使用した部屋
- ②改修個室：既存個室の壁面を石膏ボードからゾノトライト系けい酸カルシウム板に改修し、岐阜県産ヒノキ材を使用した腰壁を設置した部屋。
※既存個室と改修個室は並びの部屋で室内の配置は入り口からみて左右対称であった。

2.3 測定項目

- ①生理的な指標：唾液アミラーゼ活性、体温、心拍数、血圧、呼吸を4時間おきに測定した。
- ②行動的な指標：歩数計により4時間ごとの累積歩数を記録した。
- ③心理的な指標：STAIを自宅（実験前夜および後夜）、既存個室、改修個室それぞれの部屋で就寝前に記入してもらった。また、SD法による室内環境の印象に関するアンケートを既存個室、改修個室の各部屋の入室時、退室時に実施した。

3. 結果と考察

3.1 室内環境について

実験期間中（被験者滞在時）の改修個室と既存個室での室内の温湿度環境の測定結果を調べたと

^{*1} 試験研究部（シミュレーション研究室）

^{*2} 試験研究部（住環境研究室）

^{*3} 日本インシュレーション株式会社

^{*4} 岐阜大学医学部附属病院小児科

ころ、改修個室と既存個室との間に温度差はなかったが、既存個室に比べて改修個室での湿度が高かった ($p<0.01$) (図 1)。これは、各部屋での調湿性能を調査するために使用した加湿器の加湿量に差があったことが原因と考えられる ($p<0.01$) (図 2)。

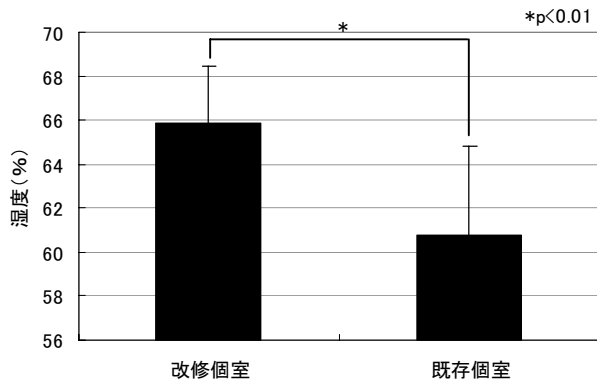


図 1 各部屋の湿度

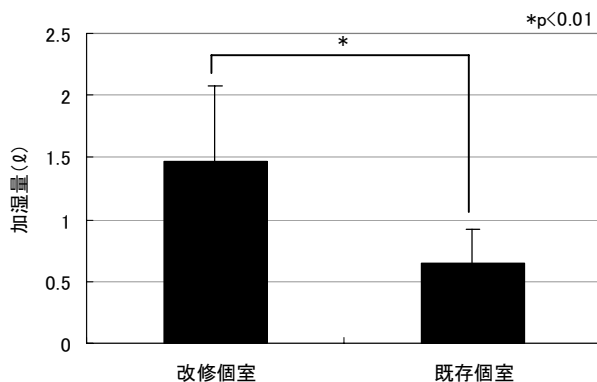


図 2 各部屋の加湿量

3.2 生理的な影響

図 3～図 6 に生理データの測定結果を示す。各生理指標について、時間帯ごとに t 検定を行ったところ、18 時では、既存個室に比べて改修個室で唾液アミラーゼ活性が低く ($p<0.05$)、脈圧 (最高血圧－最低血圧)、呼吸数が低い傾向が見られた ($p<0.1$)。6 時では、既存個室に比べて改修個室で呼吸数が少なく ($p<0.05$)、唾液アミラーゼ活性 ($p<0.1$) が低い傾向が見られた。以上の結果より、交感神経と副交感神経が切り替わると考えられる朝方 (6 時) と夕方 (18 時) の時間帯で既存個室に比べて改修個室では交感神経の活動が抑えられる傾向があったと考えられる。

また、朝 10 時では既存個室に比べて改修個室で脈圧が高かったが ($p<0.05$)、最低血圧での差はな

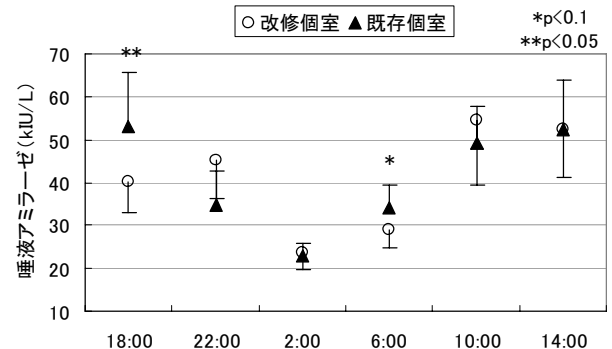


図 3 各部屋の 4 時間ごとの唾液アミラーゼ活性

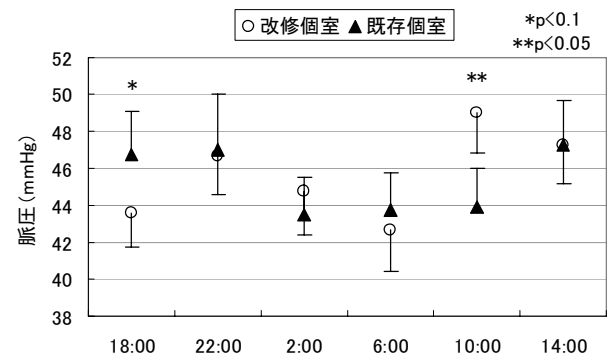


図 4 各部屋の 4 時間ごとの脈圧

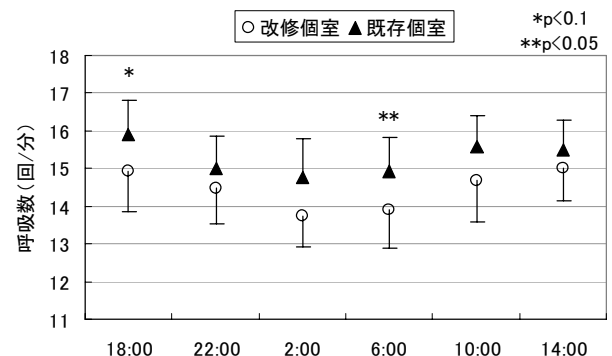


図 5 各部屋の 4 時間ごとの呼吸数

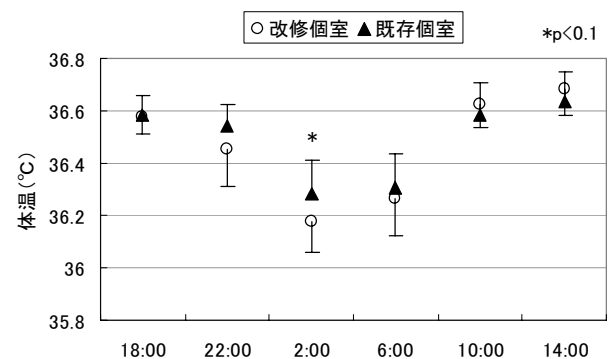


図 6 各部屋の 4 時間ごとの体温

く、最高血圧の差が結果に影響したと考えられた。最高血圧は、心臓が血液を送り出すときの血圧であるが、この時間帯で最高血圧が変化した原因は今回の実験では不明であった。

2時では、既存個室に比べて改修個室で体温が低い傾向が見られた ($p<0.1$)。同じ時間帯での累積歩数の値が小さいことから (図 7)、この時間帯は就寝している時間帯であると考えられた。また、就寝前の身体活動の増加 (体温の上昇) や就寝時の体温の低下は入眠のしやすさや深い睡眠をとるのに有効であるとの報告もあり、今回の実験結果では、測定間隔が4時間と長いため明らかではないが、22時に活動量が増加し (図 7)、2時に体温が低下する傾向があることから、改修個室は睡眠に良い影響をもたらす可能性があると考えられた。

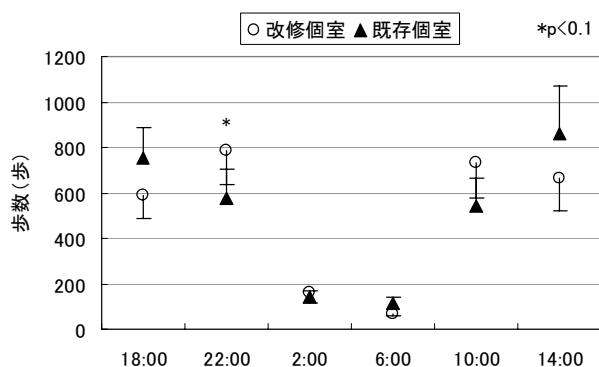


図 7 各部屋の4時間ごとの累積歩数

3.2 心理的な影響

STAIの調査結果では、改修個室と既存個室との間に統計的に有意な差は見られなかった。

SD法によるアンケートの調査結果について、計24項目の内、「良い－悪い」以外の評価項目について因子分析を行った結果、累積寄与率67.2%で7つの因子が抽出された (表 1)。その中でも部屋の違いによる影響が見られたのは、因子1、因子3、因子4であった (図 8～図 10)。因子1は「親しみやすい」「暖かい」「やさしい」「くつろいだ」などの項目と関係が深く、「穏和な感じ」を表す因子、因子3は「潤いのある」「軽い」などの項目と関係が深く、「若々しい感じ」を表す因子、因子4は「開放感のある」「広い」などの項目と関係が深く、「開放的な感じ」を表す因子であると考えられた。

因子1、因子3については、既存個室に比べて改修個室での評価が高く、木材の使用により、穏和な感じや若々しい感じを与えることが確認された ($p<0.05$)。また、因子4については、改修個室に比べて既存個室での評価が高く、既存個室の方が

広く、開放的な印象を与えることがわかった ($p<0.05$)。このような結果になった原因として、壁面を改修した際に既存個室に比べて改修個室が壁面パネルの厚み分狭くなってしまったこと、湿度に差があったことが影響したと考えられる。

「良い－悪い」の印象については、既存個室に比べて改修個室の方が良い印象であった ($p<0.05$) (図 11)。

表 1 SD法によるアンケートの因子行列

	因子1	因子2	因子3	因子4	因子5	因子6	因子7
親しみやすい－親しみにくい	-0.81	-0.21	-0.22	0.15	0.14	0.05	-0.02
冷たい－暖かい	0.75	0.17	-0.06	-0.12	-0.08	-0.03	0.17
やさしい－厳しい	-0.66	-0.12	-0.29	-0.17	-0.19	0.04	0.24
張りつめた－くつろいだ	0.64	0.47	-0.01	0.07	0.13	0.16	0.02
人工的な－自然な	0.57	-0.45	0.39	0.04	0.03	-0.10	0.22
あつさりした－くどい	-0.14	-0.84	-0.02	-0.04	-0.16	0.10	0.15
動的な－静的な	0.13	0.83	-0.18	-0.25	0.14	0.03	0.22
落ち着いた－興奮した	-0.16	-0.56	-0.12	0.07	0.03	0.23	-0.05
活発な－おとなしい	0.09	0.53	-0.21	-0.31	0.50	0.05	0.12
乾いた－潤いのある	0.07	-0.02	0.82	-0.03	-0.01	-0.09	0.15
重い－軽い	0.20	0.06	0.62	0.45	0.01	0.21	0.19
雰囲気のある－殺伐とした	-0.51	0.11	-0.60	0.17	0.28	-0.23	-0.08
圧迫感のある－開放感のある	-0.01	-0.02	0.23	0.70	-0.13	0.14	0.09
広い－狭い	0.03	0.13	0.03	-0.69	0.06	0.08	0.16
しつとりした－からつとした	-0.14	-0.11	-0.47	0.68	-0.16	0.23	0.00
洗練された－素朴な	0.12	0.30	0.23	-0.13	0.74	-0.03	0.04
澄んだ－濁った	-0.17	0.01	-0.42	-0.22	0.58	-0.27	0.14
不健康な－健康な	0.28	0.44	0.28	0.06	-0.51	0.17	0.22
趣のない－趣のある	0.34	-0.24	0.39	0.00	-0.42	0.29	0.39
熱い－寒い	-0.08	-0.12	-0.02	0.28	-0.25	0.40	0.16
うっとおしい－さわやかな	0.01	-0.07	0.04	0.03	-0.05	0.84	-0.01
明るい－暗い	-0.13	0.01	-0.28	-0.20	0.21	-0.26	-0.58
おだやかな－にぎやかな	-0.01	-0.11	-0.08	0.13	-0.15	0.07	-0.71
固有价值	3.04	2.91	2.62	2.11	1.95	1.42	1.41
寄与率 (%)	13.2	12.7	11.4	9.2	8.5	6.2	6.1

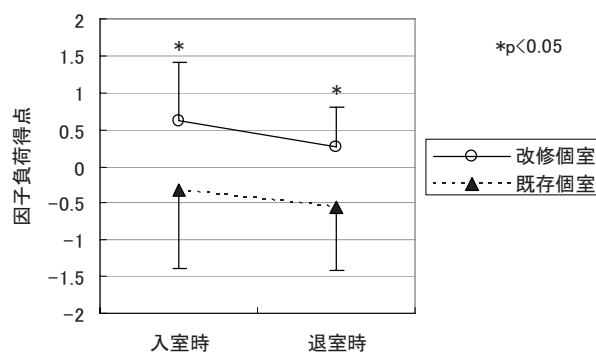


図 8 因子1 (穏和な感じ)

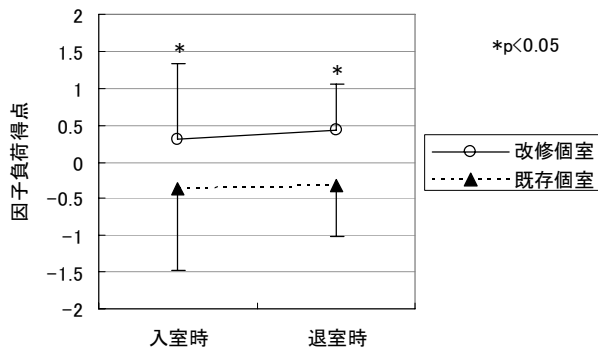


図 9 因子3 (若々しい感じ)

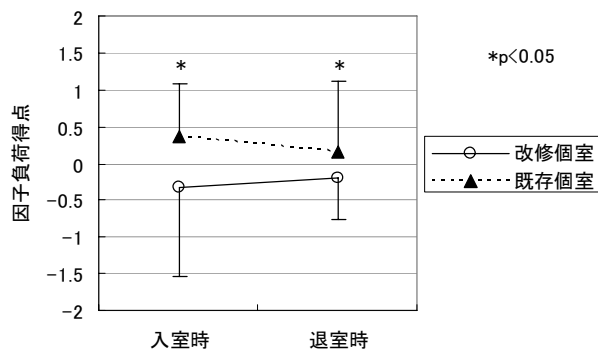


図 10 因子4 (開放的な感じ)

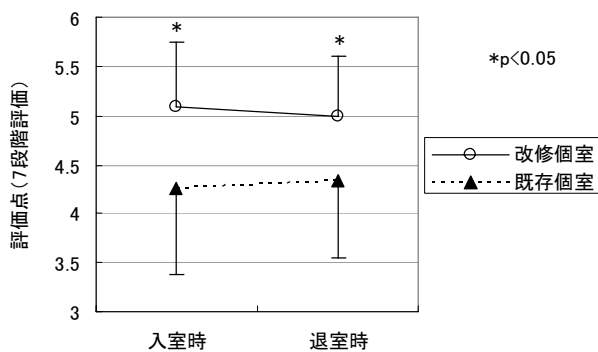


図 11 「良い-悪い」の評価

4. まとめ

室内環境に木材を使用することが人に与える心理的・生理的な影響を実際の居住空間で調査した。調査結果より、朝方および夕方の交感神経と副交

感神経の活動が切り替わると考えられる時間帯で、木材を使用した部屋は木材を使用していない部屋に比べて交感神経の活動が抑えられリラックスした状態であると考えられた。また、木材を使用した部屋では使用していない部屋と比べて、就寝前に身体の高活動量が高く、就寝後の深夜の時間帯で体温が低い傾向が見られた。今回の実験では活動量や体温の差も小さく、明らかではないが、就寝前の身体活動の増加（体温の上昇）や就寝時の体温の低下は入眠のしやすさや深い睡眠をとるのに有効であるとの報告もあり、室内環境に木材を使用することで睡眠にも良い影響を与える可能性があると考えられた。

主観的な印象については、木材を腰壁に使用した部屋は、使用していない部屋に比べて、開放的な感じはしないが、穏和な感じや若々しい感じを与え、良いという印象を与えていることが確認された。

謝辞

本研究に関してご指導、ご助言いただきました岐阜大学医学部附属病院小児科の近藤直実教授、同附属病院小児科の折居建治先生、実験にご協力頂いた同附属病院小児科病棟の皆様ならびに被験者の皆様に感謝いたします。

参考文献

- 1) 宮崎良文, 木と森の快適さを科学する, 全国林業改良普及協会, 2002.
- 2) 太田ひろみ他, 隔離病室の内壁改善が短期滞在者の生理機能に及ぼす効果, 日本生気象学会雑誌, Vol.45, No.2, pp.73-84, 2008.
- 3) 小澤利男, 脈圧測定 of 臨床, Arterial Stiffness 動脈壁の硬化と老化, No.8, 2005.
- 4) 小田史郎, 睡眠前の体温変動が入眠に及ぼす影響, 北海道浅井学園大学生涯学習研究所紀要, 生涯学習研究と実践, 4, pp.223-231, 2003.
- 5) 橋本聡子他, 睡眠と生体リズム, 日本薬理学雑誌, Vol.129, No.6, pp.400-403, 2007.

木質住環境の快適性評価に関する研究（第4報） 学校空気質測定

西垣康広^{*}，伊藤国億^{*}

Study on comfortable evaluation of woody living environment (IV) Measurement of air conditon for junior high school

Yasuhiro NISHIGAKI^{*} and Kuniyasu ITO^{*}

岐阜県高山市内に建つ木造教室とコンクリート造教室の室内環境調査として空気質測定と温湿度測定を行い、木造教室とコンクリート造教室の違いが室内環境に与える影響について調査した。その結果、月毎の最高気温の平均値は、夏季ではコンクリート造教室の方が高くなり、冬季ではコンクリート造教室の方が低くなることがわかった。一方、月毎の最低気温の平均値は、冬季においてコンクリート造教室の方が低くなることがわかった。これは木材とコンクリートの断熱性能の違いが影響していると考えられる。また、相対湿度の月毎の平均値は、夏季においては顕著な差は見られなかったが、冬季においては木造教室よりもコンクリート造教室の方が高くなることがわかった。これは温度の影響を受けているためであると考えられる。

室内空気中のホルムアルデヒド放散濃度は8月が最も高く、気温に比例する傾向が見られたが、アセトアルデヒド放散濃度はほぼ一定であった。ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド放散濃度は、いずれも厚生労働省が定める濃度指針値以下であった。

1. 緒言

最近の住宅は新しい建材や建築方法が導入され、コンクリート造、プレハブ造が多くなっている。また、アルミサッシの普及により住宅の気密性は非常に高くなった。このため、室内では接着剤等から放散されるホルムアルデヒド等の室内濃度が健康を害するレベルまで上昇し、シックハウス症候群が社会問題化した。これにより建築基準法が改正されたが、健康で安全な室内環境の提供は必ずしも十分であるとは言えない。

このような状況下、室内環境への関心は住宅だけでなく、1日の大半を過ごす学校、職域においても高まっている。近年エコスクール事業等に伴い、教育現場で木造校舎の設置が進みつつある。全国の公立小中学校の校舎は、ほとんどがコンクリート造校舎であるが、木材を入手しやすい地域では学校の木造化が進行している。

岐阜県高山市においても小学校 17 校中 2 校、中学校 12 校中 2 校が木造校舎であり、平成 22 年度までに更に 2 校が木造校舎へ改築する予定である。

平成 14 年に厚生労働省によりホルムアルデヒドの室内濃度指針値が定められ、学校関連では「学校環境衛生の基準」が改正された。これにより定期検査、臨時検査による教室の室内空気質の測定が実施され、その対策がとられ始めた。しかし、学校の居住性等に関する研究は住宅のそれに比べると非常に少なく、木造校舎における快適性^{1~3)}等に関する研究はほとんど行われておらず、十分ではない。

そこで高山市内の小中学校の中から最近木造校舎に改築した中山中学校の教室と立地条件が類似しているコンクリート造校舎の松倉中学校の教室を選定し、空気質測定と温湿度測定による室内環境調査を行った。その結果木造教室、コンクリート造教室が室内環境にどのような影響を与えるのかについて知見を得たので報告する。

^{*} 試験研究部（住環境研究室）

2. 実験方法

2.1 空気質測定対象教室

測定対象とした学校は、岐阜県高山市内に建つ中学校の内、木造校舎（木造）の中山中学校とコンクリート造校舎（RC造）の松倉中学校である。

中山中学校は2007年、2008年に校舎が完成し、完成後1年経過した3-5教室を測定教室とした。これは2階建て校舎の最上階の最西端に位置する普通教室であり、3年生の数学の授業において1週間の内に12時限（10時間）使用される教室である。

一方松倉中学校は1982年に校舎が完成している。測定教室とした4-1教室は、中山中学校のそれと位置条件をなるべく等しくするために4階建ての最上階の最西端に位置する教室を選定した。この教室は普段はほとんど使用されておらず、週に2時間ほど作業、打合せ等に使用される比較的使用頻度が低い教室である。

2.2 測定

2.2.1 教室内空気質測定

それぞれの教室の空気質測定は、厚生労働省室内空气中化学物質の標準的測定方法を参考にし、2008年6月～2009年2月までの間に4回行った。空気質測定日は生徒が各教室に居ない期末試験の初日と夏休みの最終日を選定して行った。空気質測定当日は30分間窓、ドアを開放して換気した後、5時間窓、ドアを閉め切り、その後アルデヒド類と揮発性有機化合物（VOC）の放散量測定を行った。

アルデヒド類の測定は、JIS A 1962 室内空気中のホルムアルデヒド及び他のカルボニル化合物の定量—ポンプサンプリングに準じて、捕集管、（Sep-Pak DNPH Silica[short-type]）を用い、エアポンプで教室内空気を0.34L/minの速度で30分間、10L捕集した。分析条件は村田らの報告⁴⁾と同様にアセトニトリルで溶出後、HPLCでグラジェントをかけて分析し、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド放散濃度を検量線により定量した。

VOCはJIS A 1966 室内空気中のVOCの吸着捕集／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じ、捕集管（Tenax TA）を用いておよそ0.167L/minの速度で30分間、5L捕集した。分析は村田らの報告⁴⁾と同様にして加熱脱着—GC/MS法により行った。

2.2.2 教室内温度・湿度測定

各教室の温度・湿度測定は、自動温湿度測定装置（おんどとり：アズワン製TR-72S）を使用して、30分毎に行った。

3. 結果と考察

写真1, 2にそれぞれの教室における空気質測定の様子を示す。



写真1 木造の空気質測定風景



写真2 RC造の空気質測定風景

3.1 教室の温度及び相対湿度

温度・湿度測定用データロガーによる各教室の月毎の最高温度の平均値、最低気温の平均値と月毎の最高相対湿度の平均値、最低相対湿度の平均値をそれぞれ図1～4に示す。

図1より月毎の最高気温の平均値は6月から10月まではRC造が高かったが、1月、2月は木造の方が高い傾向を示した。これは木造の方がRC造よりも断熱性に優れていることが影響したためであると考えられる。12月以降木造において最高気温の平均値の変動が小さいのは、始業時間前の2時

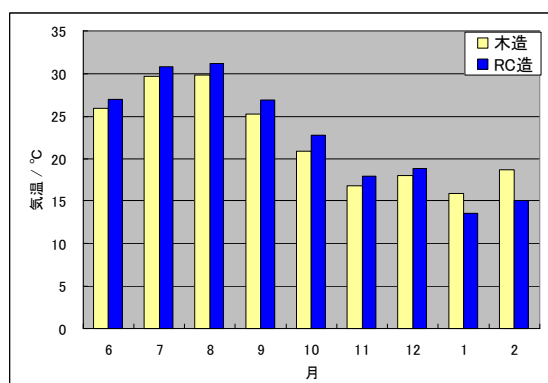


図1 各教室における最高気温の月平均値

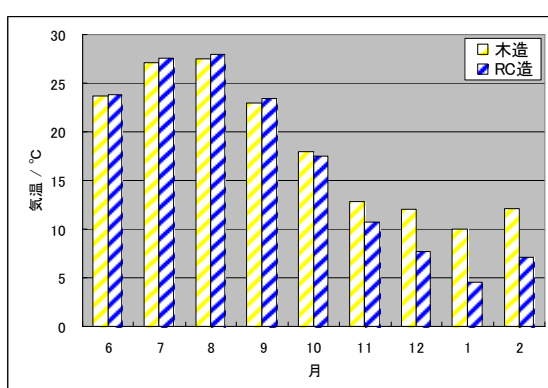


図2 各教室における最低気温の月平均値

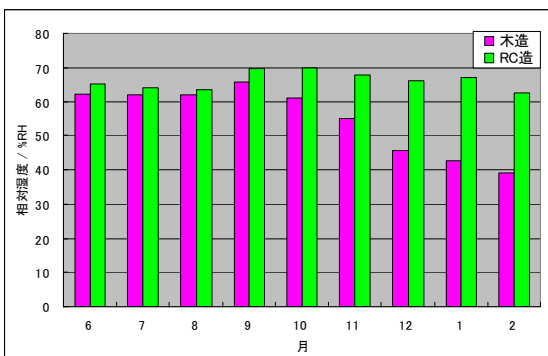


図3 各教室における最高相対湿度の月平均値

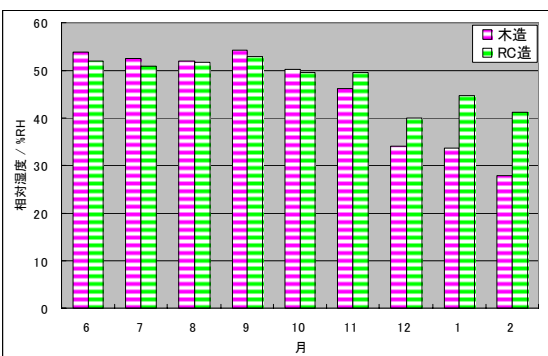


図4 各教室における最低相対湿度の月平均値

間強制的に床暖房装置が働き、教室の空気が暖め

られたためと推測される。一方、RC造では教室の使用頻度が低いため、ストーブによる暖房も常に行われていないため、外気の影響を受けやすくなり、木造よりも気温が低くなったと考えられる。

図2より月毎の最低気温の平均値は、6月から10月までは木造とRC造において似た傾向を示したが、11月から2月までは木造よりもRC造の方が低くなった。これも木とコンクリートの断熱性能の違いが影響しているためであると考えられる。

図3より6月から9月までは木造とRC造の最高相対湿度に顕著な違いは見られなかったが、10月以降木造では減少傾向が見られた。また、RC造では6月から2月まではほぼ同じ値であった。

図4より夏季においては木造とRC造の最低相対湿度は類似した値であったが、冬季においては木造よりもRC造の方が高くなった。教室内の相対湿度は温度との関係が密接であるため、夏季においては温度差が小さいため、相対湿度差も小さいが、冬季においてはRC造の最高気温、最低気温が木造のそれよりも低くなるため、相対湿度は高くなると考えられる。

3.2 室内環境空気質

3.2.1 アルデヒド類

ホルムアルデヒドとアセトアルデヒドの放散濃度の定量結果を図5,6に示す。図5よりRC造よりも木造の方がホルムアルデヒドの放散濃度が高いことがわかった。これは教室内の状態（木造であるか、RC造であるか、教室内の備品の違い等）が影響しているためであると考えられる。

RC造は施工後26年経過しているため、放散濃度も低いと考えられるが、木造は施工後2年未満のため、RC造に比べると放散濃度も高いと考えられる。また、8月の放散濃度が高いのは気温が高いことが影響していると考えられる。その他の月ではほぼ気温に比例した放散濃度であった。ただし、いずれの時期の測定においても厚生労働省の濃度指針値（0.08ppm）以下であった。

図6よりアセトアルデヒドの放散濃度は年間を通してほぼ0.02ppm前後であった。2月のRC造の放散濃度が高いのは、測定前にこの部屋で塗装作業を行っていたことが起因していると考えられる。ホルムアルデヒド放散濃度と同様にいずれの時期の測定においても厚生労働省の濃度指針値（0.03ppm）以下であった。

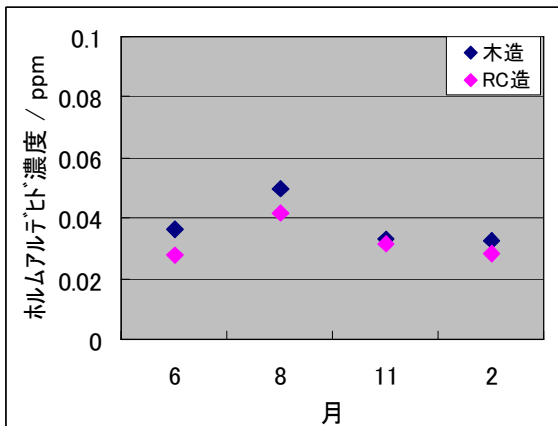


図5 各教室におけるホルムアルデヒド濃度

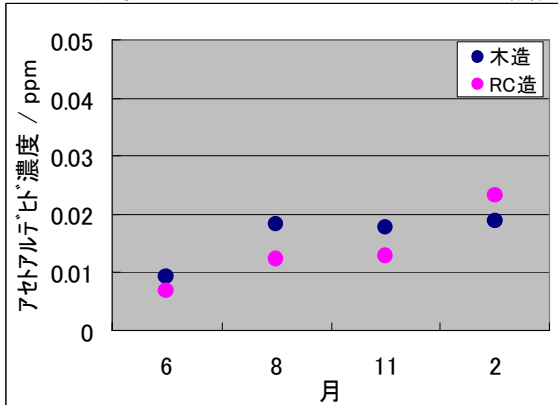


図6 各教室におけるアセトアルデヒド濃度

3.2.2 揮発性有機物質 (VOCs)

アルデヒド類の測定と同時に VOC 放散量の測定も行い、GC/MS により分析した。木造と RC 造のプロファイルを図 7, 8 にそれぞれ示す。

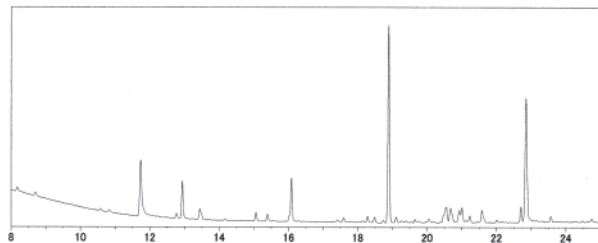


図7 木造のGC/MSプロファイル

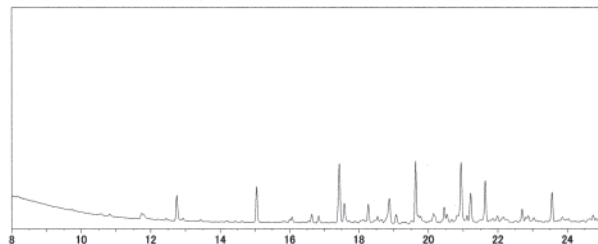


図8 RC造のGC/MSプロファイル

図 7 からは木材の α -ピネンに由来すると考えられるピークが検出されたが、図 8 のそのピークは木造におけるピークに比べ小さかった。また両教室のクロマトグラムは異なっていたことから、空気質が異なることが推測される。

4. まとめ

岐阜県高山市内に建つ中山中学校の教室と松倉中学校の教室の空気質測定と温湿度測定を行い、木造校舎とコンクリート造校舎の違いが室内環境に与える影響について以下の知見を得た。

- (1) 木造とRC造の月毎の最高気温の平均値は、夏季では木造の方が低く、冬季では木造の方が高くなった。
- (2) 月毎の最低気温の平均値は、冬季ではRC造の方が低くなった。これは木材とコンクリートの断熱性能の違いが影響していると考えられる。
- (3) 月毎の相対湿度の平均値は、夏季においては顕著な差は見られなかったが、冬季においては木造よりもRC造の方が高くなった。これは温度の影響を受けているためと考えられる。
- (4) ホルムアルデヒド放散濃度は8月が最も高く、気温に比例する傾向が見られた。また、アセトアルデヒドについてはほぼ一定の放散濃度であった。ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド放散濃度は、厚生労働省のそれぞれの濃度指針値 (0.08ppm、0.10ppm) 以下であった。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、空気質測定にご協力頂きました高山市立中山中学校と松倉中学校の教頭先生及び高山市教育委員会の方々に感謝いたします。

文献

- 1) 服部芳明ら：木材工業, 46, 220-225(1991).
- 2) 木口実ら：木材工業, 43, 416-420(1988).
- 3) 鈴木路子：東京学芸大学紀要 5 部門, 28, 273-282(1976).
- 4) 村田明宏ら：岐阜県生活技術研究所研究報告, 7, 42-44(2005).

上肢支援型起立動作補助装置の開発（第4報） 起立補助椅子からの立ち上がりと肘掛け位置の関係

坂東 直行^{*1}、山田 宏尚^{*2}、森田 啓之^{*3}、田中 邦彦^{*3}

Development of assist machine for the motion of standing up using human's upper arm power (IV)

Naoyuki BANDO ^{*1}, Hironao YAMADA ^{*2}
Hironobu MORITA ^{*3}, Kunihiko TANAKA ^{*3}

筆者らは、現在市販されている起立補助椅子では立ち上がりが困難なユーザであっても、立ち上がることができる起立補助椅子の実現を目標に研究を行っている。人は下肢の機能が低下したとき、上肢の力で機能を補って起立動作を行うことに着目すると、起立動作の負担軽減に肘掛けが役立つものと考えられる。そこで、肘掛けの可動機構を付加した起立補助椅子を開発している。

本報では、起立補助椅子からの立ち上がりにおける肘掛け位置の影響を評価するため、動作解析実験および筋骨格シミュレーションによる解析を行った。その結果、肘掛け位置の違いにより腰関節角度および腰関節トルクの変化に違いが見られたが、腰部筋が発揮する筋張力および筋パワーには違いがみられなかった。このことから、関節トルクが増加しても、副動筋との連携することで主動筋の負担は抑制され、ある部位の筋肉の負担が集中して増加するのを回避するようになっていないと推察された。

1. 緒言

一般に、高齢になるにつれて下肢の力のみに頼る立ち上がりは困難になり、上肢の力も加えた起立動作を行うようになる。また一部の筋・神経疾患患者においても、下肢の自由が利かない場合は上肢の力で起立動作を補う。しかし、現在市販されている起立補助椅子は、座面のみが動く、もしくは肘掛と座面が一体になって動くというものが多く、起立動作が行いやすい位置に肘掛けを配置するという配慮まではされていない。そこで、肘掛けに可動機構を付加し、立ち上がるときに肘掛けを有効に利用することで今までの椅子よりも容易に起立動作が行える起立補助椅子の開発を行っている。

我々が提案する肘掛け可動機構において、立ち上がり動作に有効な肘掛け位置を客観的および定量的なデータで導出することは、開発している起立補助椅子の商品価値を高めるうえで有効である。

筆者らはこれを剛体リンクモデルを用いて計算する関節トルクを指標とすることで、実現していた。しかしこの場合、関節トルクを発生させている筋肉がどの程度活動しているのかを評価することはできなかった。人間動作において、人が感じる負担の大小は筋肉の活動に起因するものであるため、関節トルクでは的を射た評価は難しい。

この問題を解決する手法として近年、筋骨格シミュレーションが注目されている。筋骨格シミュレーションとは、人間動作における筋活動を、筋腱複合体が骨格に付着する筋骨格モデルを用いて定量的に推定する手法である。これにより人間動作の違いによる筋の部位毎の負担を評価することができる。

^{*1} 機械材料研究所

^{*2} 岐阜大学工学部人間情報システム工学科

^{*3} 岐阜大学医学系研究科生理学分野

そこで本研究では、筋骨格シミュレーションを用い、立ち上がり動作における身体負担の筋肉レベルで評価を試みたので報告する。

2. 実験

2.1 実験方法

実験手法としては、人の動作をビデオカメラで撮影して得られた映像データを解析することで身体各部位の 3 次元位置情報を時系列で取得し、これを人の身体特性を模擬したモデルに入力することで、各種の指標を得る方法を採用した。

本研究において解析の対象となる人間動作は、起立補助椅子からの立ち上がり動作とした。ここで起立補助椅子からの立ち上がり動作とは中腰姿勢からの立ち上がりであるとし、中腰姿勢は被験者の身体寸法および姿勢から定義した。具体的には、座位姿勢と立位姿勢のそれぞれの状態における被験者の転子点位置を結ぶ線分の midpoint に転子点があり、上半身が鉛直状態にある姿勢とした。

本研究では、起立補助椅子からの立ち上がりにおける肘掛け位置の影響を検証することが目的であるため、被験者に肘掛け位置を変えて提示することとした。このとき、肘掛け位置は座位姿勢における標準的な肘掛け位置および立位姿勢における手首関節の位置を結ぶ線分と、鉛直線、水平線により構成される直角三角形を、前方に 5 水準、上方に 5 水準に等分に分割した合計 15 水準に定めた。(図1、図2)

被験者は 20 代の健康な男子 1 名であり、プロフィールは表1に示すとおりである。

表1. 被験者のプロフィール

被験者1	
性別	男
身長	173cm
体重	49kg
年齢	28歳

2.2 実験装置

2.2.1 重心移動評価装置

本研究では、図3に示す重心移動評価装置を実験に用いた。この装置は、起立補助椅子の任意の動作を模擬できるように、水平方向、鉛直方向、及び座面傾斜角度が独立してコントロールできるようになっている。本実験ではこの機能を使って身体寸法に応じた中腰姿勢を被験者に提示した。また、座面の 4 隅には圧力センサが配置されているため、座面荷重の測定が可能となっている。

このほかにも、肘掛けを前後方向および上下方

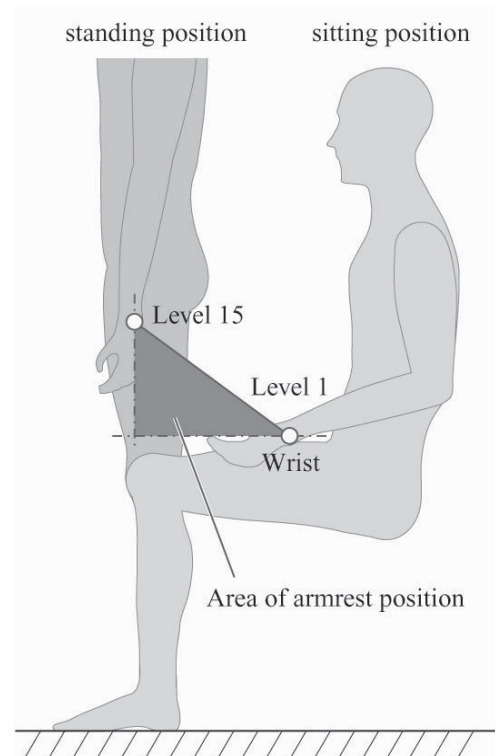


図1 肘掛け位置の定義

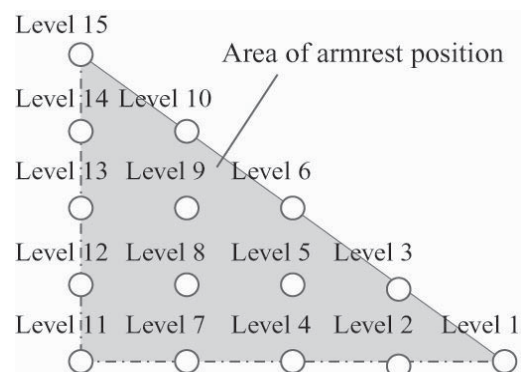


図2 肘掛け位置の設定水準とラベル

向の任意の位置に配置できるようになっており、肘掛けに作用する荷重は肘掛けに取り付けた 6 分力計により測定できるようになっている (図4)。また、被験者の足下には床反力計を設置し、起立動作時に床に作用する荷重を測定することができる。

2.2.2 動画解析

被験者の立ち上がり動作時の身体各部位の位置情報を連続して取得するため、被験者の身体関節に反射マークを取り付け、動作をビデオカメラにより撮影した。

撮影した映像は、株式会社ライブラリー社製動画解析ソフトウェアMove-tr/3Dを用いて処理し、反射マークの3次元位置を取得した。

2.2.2 筋骨格シミュレーション

動画解析によって得られた起立動作における身体関節に取り付けた反射マークの位置情報と、重心移動評価装置および床反力計から得られた荷重情報を、(株)ジースポーツ社製筋骨格シミュレーションソフトウェアARMOに入力し、動作解析を行った。

筋骨格シミュレーションでは、多変数の連立方程式を解くことになるが、シミュレーションモデルに入力する変数の数に対して、求める変数の数のほうが多いため、通常は解を得ることができない。この問題を解決するため、筋骨格シミュレーションでは、最適化の手法を用いるのが一般的となっている。これにより筋骨格シミュレータにより得られる筋活動に関する指標は実際の値を示すものではなく、推定値であることに留意が必要で

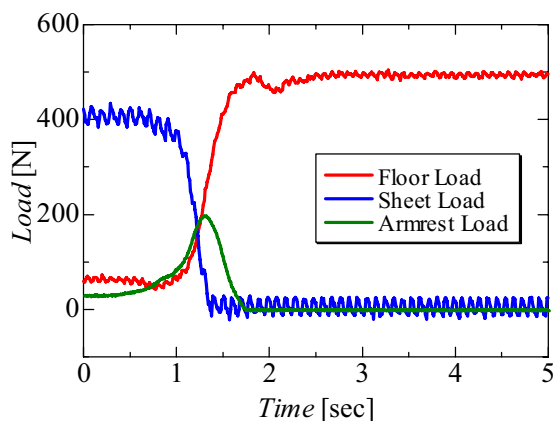


図5 起立動作時の荷重の変化

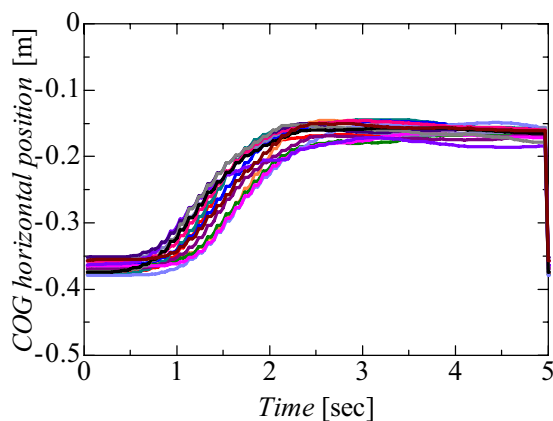


図6 身体重心位置の水平移動量

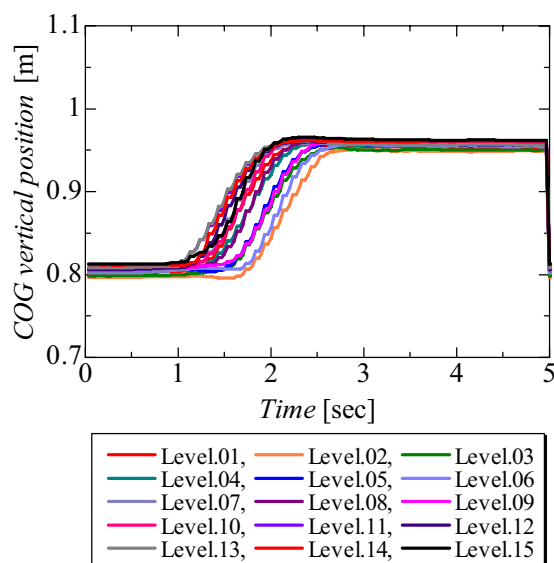


図7 身体重心位置の垂直移動量



図3 重心移動評価装置



図4 肘掛部と荷重センサ

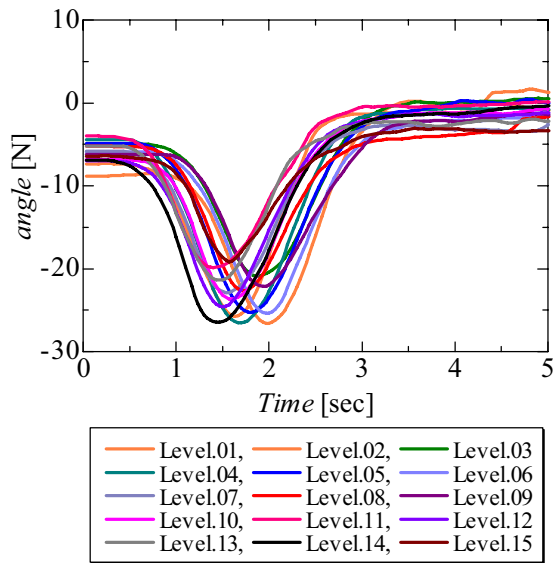


図8 腰関節角度の変化

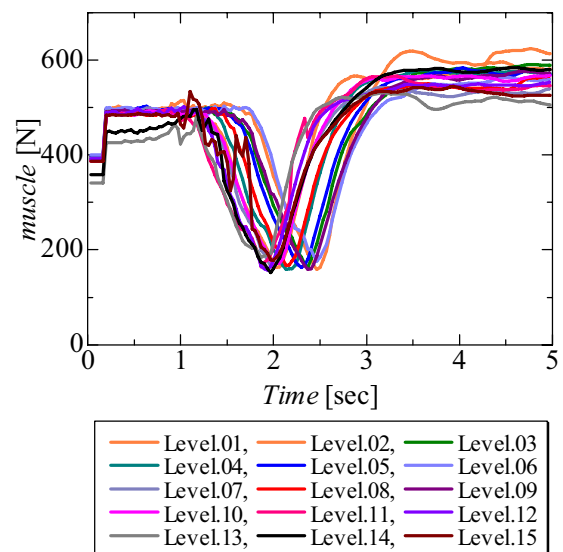


図10 腸腰筋群の筋張力の推定値

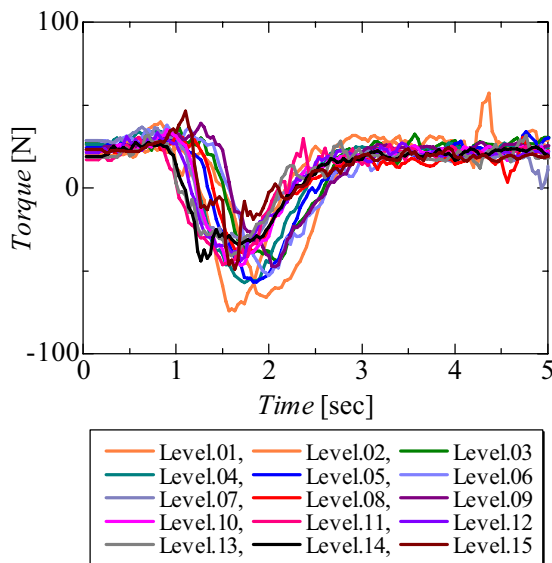


図9 腰関節トルク

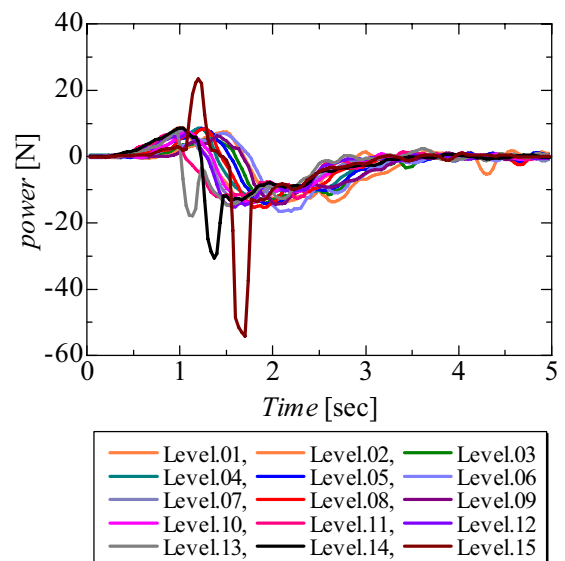


図11 腸腰筋群の筋パワーの推定値

あるが、筋肉が複雑に連携する複合動作の筋活動評価における解析手法として期待される。

本研究では、各筋の筋応力（＝筋力／生理学的筋断面積）の2乗の総和が最小となるように最適化したときの値を、筋力推定値とする方法を採用した。

なお、シミュレーションで用いる筋骨格モデルの筋付着位置は、各水準間で一致するものとした。

3. 結果と考察

図5に起立補助椅子からの立ち上がりにおける荷重の変化の一例を示す。ここから、座位時に座

面、肘掛けおよび床にそれぞれ配分された荷重が、立ち上がり動作前半は肘掛けに、動作後半は床に荷重が移っていき、動作後は床に荷重が集中する様子がわかる。

図6および図7に被験者の身体重心位置の変化を肘掛け水準別に示す。立ち上がり動作とは、身体重心位置を低い位置から高い位置に移動させる一連の動作といえるが、ここでは肘掛け位置の影響による変化がみられない。ここから、肘掛け位置の如何に問わず、おなじ座面位置からの立ち上がりであれば身体重心位置の移動軌跡は同一である

と考えられる。

しかし図8に示す被験者の腰関節角度の変化では、肘掛け位置の違いによる変化が見て取れる。肘掛け位置の違いにより、初期姿勢が若干ことなるが、それ以上に立ち上がり動作中の腰関節変化のピークを示す値および初期姿勢からの変化量が異なる。これをふまえ、腰関節トルクの変化を図7に示す。ここからも肘掛け位置による違いが見られた。しかし、図9および図10に示す筋骨格シミュレーションにより推定した腸腰筋群の筋張力の変化をおよび腸腰筋群の筋パワーには肘掛け位置による変化が見られなかった。腸腰筋群の筋張力および筋パワーには違いがないにもかかわらず、腰関節トルクには変化が見られたことは、腸腰筋群ではない別の筋群が補助的に動作して負担が特定の筋群に集中するのを回避しているためと推察される。

以上のことから、立ち上がり動作における肘掛け位置の違いは腰関節の角度変化に現れ、これにより腰関節トルクも変化するが、そのトルクを発揮する主動筋である腸腰筋群の動作には顕著な変化をもたらさないことがわかった。

4. 結言

起立補助椅子からの立ち上がりにおける、肘掛け位置と立ち上がり動作の関係を、動作解析および筋骨格シミュレーションにより評価した。

その結果、肘掛け位置によらず、立ち上がり時の身体重心位置変化の軌跡は一定であり、肘掛け

位置の違いは、被験者の初期姿勢および腰関節角度の変化に現れることがわかった。腰部の角度変化の違いは、腰部の発揮する関節トルクにも違いを生むことにつながるが、腰関節トルクを発生される動力源である腸腰筋には違いが見られなかった。このことから、関節トルクが増加しても、筋肉の負担はそれほど増加しないことがわかった。

謝辞

本研究は、文部科学省知的クラスター創成事業「岐阜・大垣地域ロボティック先端医療クラスター」の一部として実施されたことをここに付記する。

参考文献

- 1) 黒田篤,「Invers Dynamicsによる筋活動シミュレーションと可視化技術」,トレーニング科学,Vol.20, No.2, pp.109-114.
- 2) 石田明允,廣川俊二,宮崎信次,阿江通良,林豊彦共著:「身体運動のバイオメカニクス」,コロナ社,2002.
- 3) 小原二郎,内田祥哉,宇野英隆編:「建築 室内人間工学」,鹿島出版会,1969.
- 4) 江原義弘,山本澄子著:「立ち上がり動作の分析」,医歯薬出版株式会社,2001.

簡易残響室を用いた音響透過損失測定方法の確立

木村公久^{*1}、長谷川良一^{*2}

Establishment of method to measure sound transmission loss
using simplified reverberation rooms.

Kimihisa KIMURA^{*1} and Ryoichi HASEGAWA^{*2}

木製ドアの遮音性能を評価するため、小型の簡易残響室 2 室からなる音響特性評価装置を開発・導入した。本装置における音響透過損失測定データの信頼性を確認するため、市販の木製ドアを用いた測定実験を行い、そのデータと JIS 認定機関にて実施した同試験体による試験結果と照合した。その結果、残響室容積が小さいことによる測定中心周波数範囲の制限は見られたが、1/3 オクターブバンドで中心周波数 500Hz～4,000Hz において、測定データの整合性を確認した。また、測定におけるデータの信頼性と再現性を高めるために、試験体の設置から測定方法までを詳細に記したマニュアルを作成した。

1. 緒言

近年、住宅に対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関する要求性能も高まっている。特に防音、遮音性能は、新たな付加機能として業界から求められている。しかし、開発品等の遮音性能評価に関するニーズはあるものの、中部経済産業局管内で製品の遮音および吸音試験を実施する評価機関はなく、企業の製品開発における時間、コスト面でマイナス要因となっている。そのため、遮音性能が評価できる装置の整備を強く求められていた。

今回、「平成20年度中部イノベーション創出共同体事業－研究開発環境支援事業 事務局：(財)中部科学技術センター」により、愛知県産業技術研究所ならびに名古屋市工業研究所と連携して、音響特性評価装置の開発・導入および音響透過損失の測定方法の確立を行った。

2. 音響特性評価装置の開発・導入

音響特性評価装置の導入にあたり、JIS規格に準拠した遮音性能評価を実施している公設試験研究機関において、設備や測定方法に関する調査を行った。調査先は、(財)日本建築総合試験所ならびに(地独)東京都立産業技術研究センターである。両機関ともにJIS規格に準拠した設備を保有しており、企業等からの依頼試験を実施している。

2.1 音響透過損失測定方法の検討

実験室を使用した遮音性能を評価する主な測定方法として、残響室－残響室を用いた音響透過損失測定、残響室－無響室を用いた音響インテンシティ法による音響透過損失測定がある。前者は、大きな試験体の遮音性能を評価する装置として、JIS認定機関や多くの公設試験研究機関で用いられている測定方法である。後者は、主に小型の製品または部材の遮音性能評価方法として用いられている。スキャニング方式による測定であるため、専用のスキャニング装置が必要であり、また大きな試験体の測定には時間がかかるとの意見を得た。本事業では、主に木製ドアの遮音性能を評価する測定方法を確立すること、また導入する装置の大きさ等に制限があったため、測定方法は残響室－残響室を用いた音響透過損失測定を選定した。

2.2 音響特性評価装置の仕様

導入する音響特性評価装置は、他からのノイズや振動による影響が1番少ない、建物内の1室に設置する計画であった。そのため、試験室の幅、奥行きおよび高さ等の寸法制限があった。

試験室の寸法制限により、試験体を設置する隔壁開口の寸法制限があった。隔壁開口寸法は、市販されている木製ドアの大きさから検討したが、施工状況によってさまざまであるため、適切な寸法設定は困難であった。そこで、最大限可能な大きさである幅 2,000mm×高さ 2,100mm とした。そして、幅方向の開口調整を簡易に行えるように、隔壁開口調整パネルを付属として設けた。この調

^{*1} 試験研究部 (生活支援研究室)

^{*2} 試験研究部 (情報指導室)

整パネルを使用することにより、幅 100mm～2,000mm の間を 100mm 間隔で調整することが可能である。さらに細かい開口調整が行えるように、幅 5,10,20,30 および 40mm の調整材 (H2,100mm×D155mm) を付属した。高さ方向に関しては、ドア枠の上下に木枠を取り付ける等、開口調整が必要である。

寸法制限によるもうひとつの問題として、測定周波数範囲があった。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」では、中心周波数の周波数帯域は 100Hz～5,000Hz と規定されている。しかし、設置条件の制約による残響室の容積が小さいことにより、低周波数帯域の室内音圧分布が安定せず、正確な測定ができないことが危惧された。

そこで、音をできるだけ拡散させるために隔壁面を斜めに、また室内には反射板を設置した。その結果、室内音圧レベル分布測定値から判断して、測定可能な中心周波数範囲は 315Hz～5,000Hz であることを確認した。また、この中心周波数範囲において、JIS A 4702:2000「ドアセット」の遮音性等級に対して、T-4 等級までの測定が可能であることを確認した。音響特性評価試験室の主な仕様を表 1 に、写真および図面を図 1～3 に示す。

表1 音響特性評価試験室の主な仕様

メーカー	株式会社 小野測器
残響室内容積	音源室 24.82m ³ 、受音室 23.17m ³
防音扉	W1,200mm×H2,170mm (有効寸法)
隔壁開口	W2,000mm×H2,100mm×D155mm 隔壁開口調整パネルを使用することにより、幅 100mm～2,000mm 間を 100mm 間隔で調整可能。
遮音性能	音源室～受音室 45dB/500Hz



音源室



受音室

図1 音響特性評価試験室 (残響室)

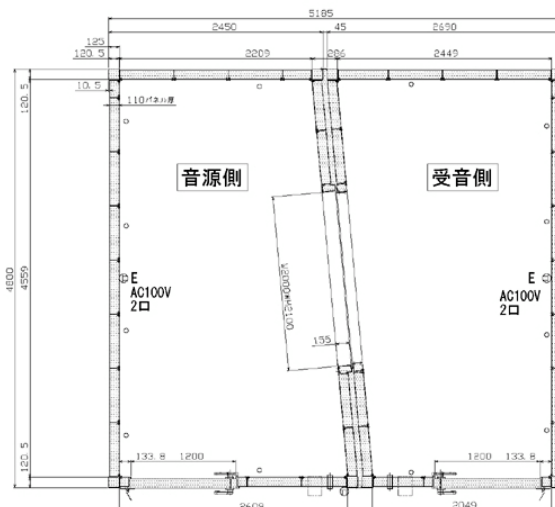


図2 音響特性評価試験室平面図

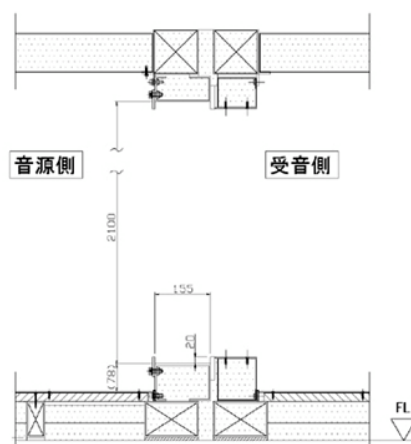


図3 隔壁開口断面図

2.3 信号処理システム

信号を出力するスピーカは、安定したノイズを発生させるために音源室へ3台、残響時間を測定するために受音室へ1台配置した。信号を入力するマイクロホンは、音源室と受音室に各5本配置し、DS-2000 (株小野測器製) により 1/3 オクターブリアルタイム解析を行う。



図4 測定機器

3. 測定結果の信頼性確認

音響特性評価装置による測定結果の信頼性を確認するため、JIS認定機関において実施した試験結果との整合性を確認した。

3.1 音響透過損失測定実験

遮音性能が異なる市販の木製ドア 4 体を試験体として、音響透過損失測定実験を行った。試験体の設置および測定状況を図5～6に示す。実験を行った 4 体の中から、最も遮音性の高い結果が得られた試験体について、JIS A 1416に基づく音響透過損失グラフを図7に示す。

3.2 測定結果の確認

JIS 認定機関にて、前項で使用した木製ドア 4 体を用い、JIS 規格に準拠した音響透過損失測定試験を実施した。その試験結果と当所で行った測定実験結果の比較を行った。前項と同じ試験体について、1/3 オクターブバンドで比較したグラフを図 8 に示す。測定誤差を $\pm 1\text{dB}$ とした場合、中心周波数帯域が $500\text{Hz}\sim 4,000\text{Hz}$ の範囲内において、測定データの整合性が確認できた。逆に、中心周波数帯域が $100\text{Hz}\sim 400\text{Hz}$ 、 $5,000\text{Hz}$ においては、測定データの整合性が得られていない結果となった。

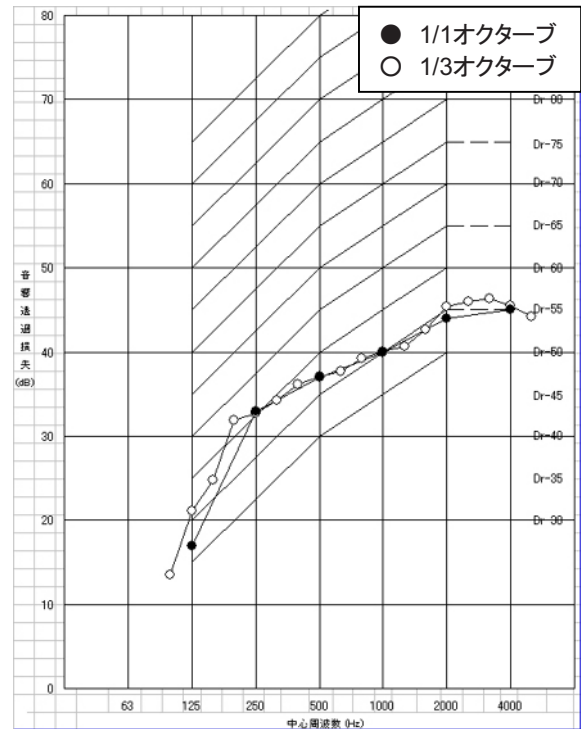


図7 音響透過損失測定データ例



図5 試験体設置状況

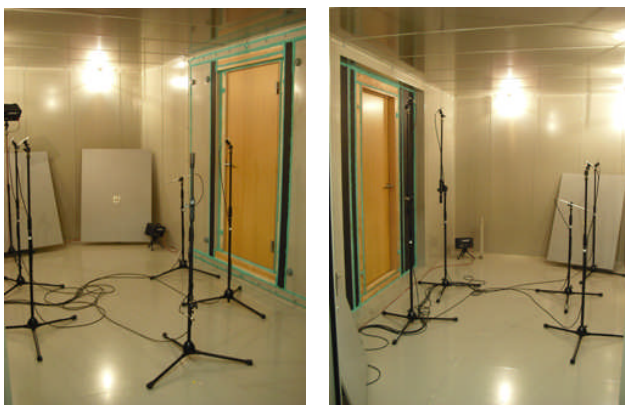


図6 音響透過損失測定状況

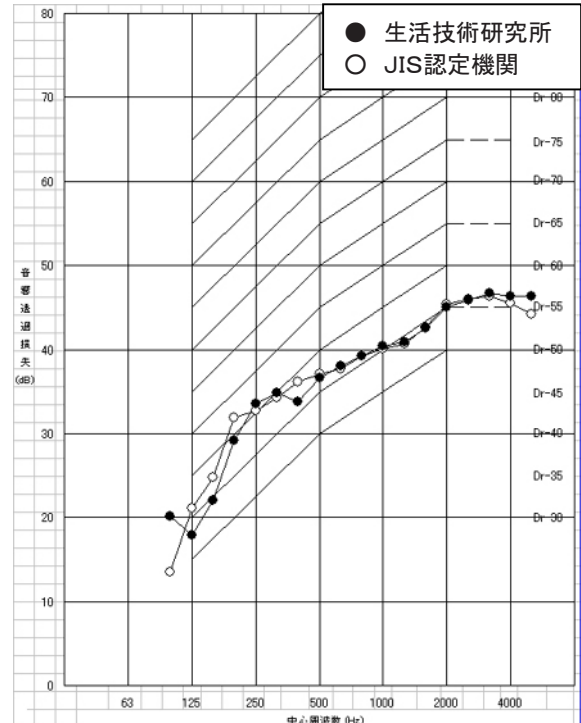


図8 測定結果の比較例 (1/3オクターブ)

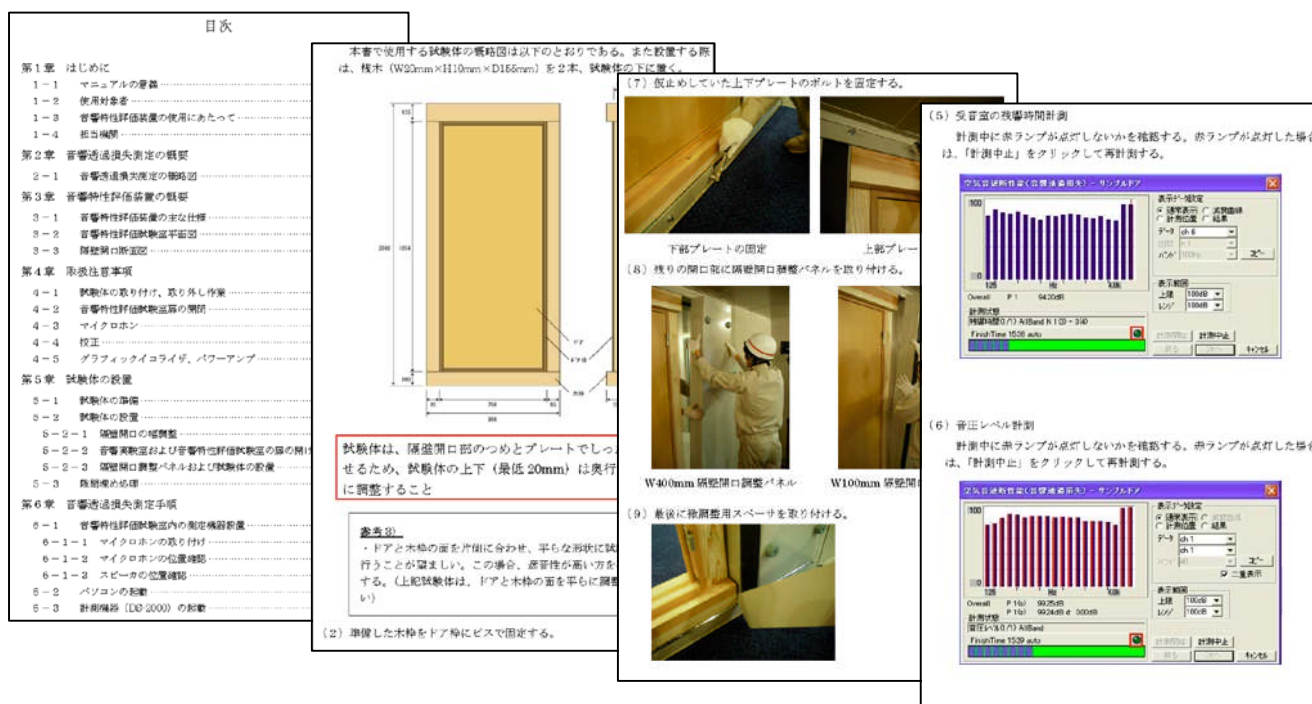


図9 音響特性評価装置を用いた音響透過損失測定マニュアル

4. まとめ

木製ドアの遮音性能を評価する装置として、簡易残響室2室からなる音響特性評価装置を導入した。本装置における音響透過損失測定結果の信頼性を確認するため、JIS認定機関で同じ市販の木製ドアを用いて実施した試験結果と照合した。その結果、中心周波数帯域が500Hz～4,000Hz (1/3オクターブバンド) において、測定結果の整合性が得られていることを確認した。試験室の性能による測定周波数範囲の制限はあるが、本装置による音響透過損失測定が可能であることを確認した。

また、企業の方々へ本装置を活用していただくために、試験体の調整および設置から測定方法まで、一通りの音響透過損失測定の流れをまとめたマニュアルを作成した。そのマニュアルの一部を図9に示す。

今後は、構造や材料等の違いによる音響透過損失測定データの蓄積を図るとともに、木製ドア以外の試験体に対する音響透過損失測定方法の確立、さらに残響室法による吸音率測定方法の確立を目指す。

本事業は、「平成20年度中部イノベーション創出共同体事業 (平成20年度地域イノベーション創出共同体形成事業 補助事業者: 財団法人中部科学技術センター) - 研究開発環境支援事業」により実施した。

謝辞

音響特性評価装置の導入にあたり、ご指導を賜りました (財) 日本建築総合試験所ならびに (地独) 東京都立産業技術研究センターのご担当者に感謝いたします。また、本事業の遂行にあたり、ご協力を賜りました愛知県産業技術研究所ならびに名古屋市工業研究所の所長をはじめとするご担当の方々に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 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」.
- 2) JIS A 4702 : 2000, 「ドアセット」.

〔技術レポート〕

体圧分布測定センサーを用いた製品評価

成瀬哲哉^{*1}、野呂影勇^{*2}

The evaluation using pressure imaging sensors

Tetsuya NARUSE^{*1} and Kageyu NORO^{*2}

1. はじめに

包丁のようなグリップ形状の道具と手の平の係わりを同定する場合、過去の事例においては「手の平に絵の具を塗って握る」「手の平と道具の間に感圧紙を巻いて握る」等の手法が用いられてきた。この手法では、「道具との接触部位」「道具を使用した中で最も高い圧力」を知ることは出来るが、道具の使用時の状況を観測することは出来なかった。

今回使用する圧力分布センサーは時系列での測定が可能であるため、道具を使用しているときの接触部位および圧力変化を時系列で観測することが可能と考えられる。

2. 測定手法

体圧分布センサーはX-Sensor社製X-Sensor X2HSを用いた。

X-Sensorは0.5inch×0.5inchのキャパシタ型圧力センサーが36セル×36セル敷き詰められたシート状センサーである。

この圧力センサーを包丁のグリップに巻きつけ接着し、その上から被験者が握り使用することで接触部位および圧力変化を時系列での観測を行った。しかし、センサーを巻きつけた上から握るため、グリップと手の平の接触部位が見えなくなる。そのため、図1のように測定開始前にグリップの特徴点を決定し、センサーを巻きつけたあとに触診にて特徴点を圧迫することにより、センサー上のどの位置に特徴点が現れるかチェックを行った。

図2に示すようにグリップが展開した状態で特徴点の位置が表示される。

センサーを巻きつけているためグリップした側の点は⑥' ⑦' ⑧' として2点表示される。

なお、グリップへの巻きつけによるセンサーへの影響は、エッジがとがったような特殊な形状を除いて観測されなかった。

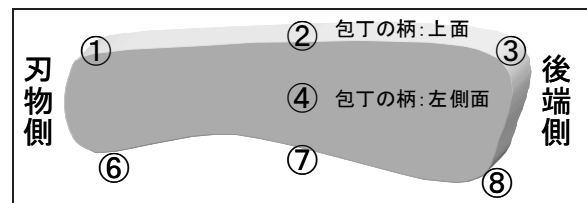


図1. 包丁のグリップと特徴点

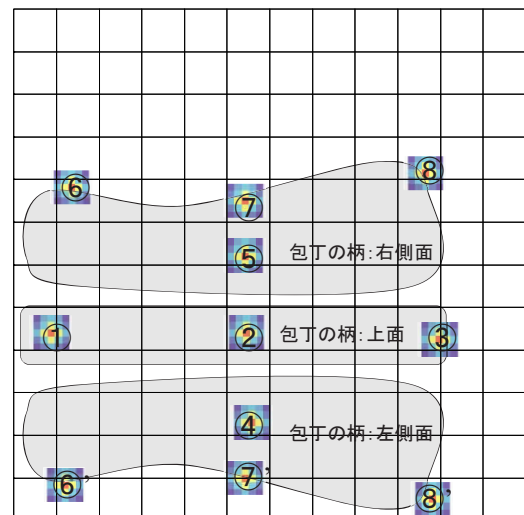


図2. 包丁のグリップ展開図と特徴点およびセンサー上の位置

次に手の平の各部位の位置確認を行う。

グリップ部を握り図3のように、特定の部位、例えば親指と人差し指を握る・離すという動作をす

^{*1} 試験研究部（シミュレーション研究室）

^{*2} エルゴシーティング株式会社

ることにより、図4のように各指、手の平の各部位の位置の同定を行い、あわせて図5のように手の平と包丁の接触部位を同定することが出来た。

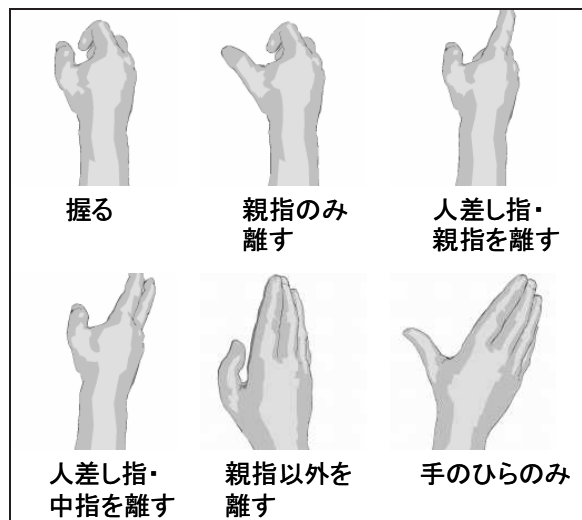


図3. 接触位置確認のためのグリップの握り方



図4. 手の平と圧力分布の重ね合わせ

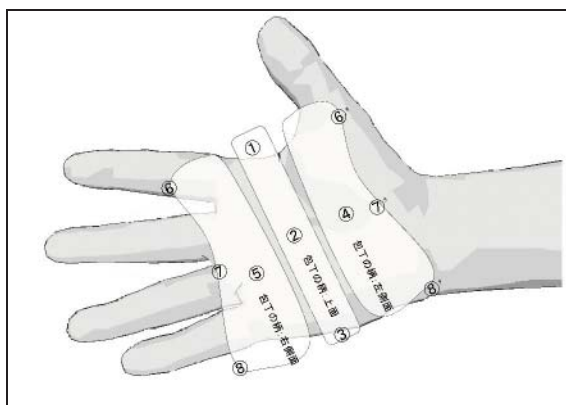


図 5. 手の平と包丁の接触部位

3. 計測例

前項の測定手法により、文化包丁を用いて大根の切断を1試行とし、連続で3試行行った時の圧力変化を測定した。

前項により手の部位が同定できているため、測定結果を図6の「接触部位と圧力分布」のように手の平、親指、人差し指、中指、薬指&小指といっ

た領域に細分化でき、1試行の中でそれぞれの部位がどのような動きをしているか検討することが可能となった。

図7に各部位の最大圧力値と時間変化を、図8に各部位の平均圧力値と時間変化を示す。

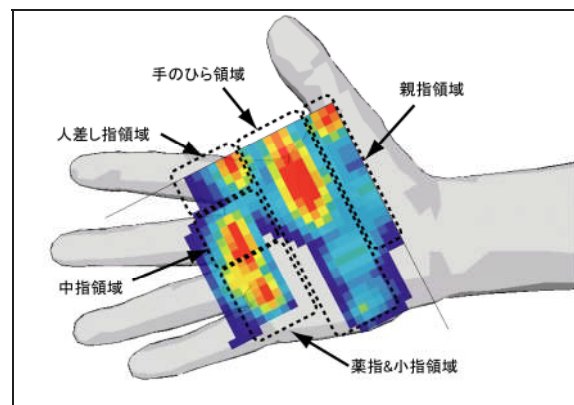


図6. 接触部位と圧力分布

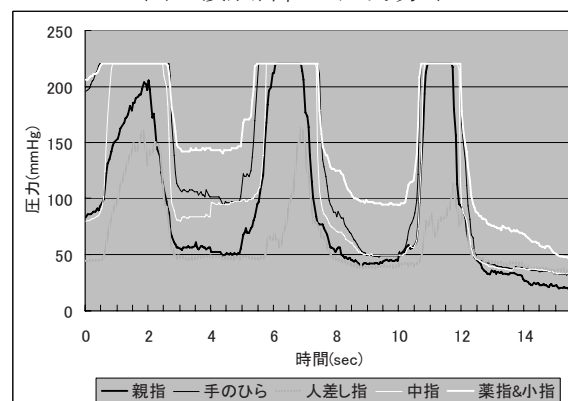


図7. 各部位の最大圧力値と時間変化

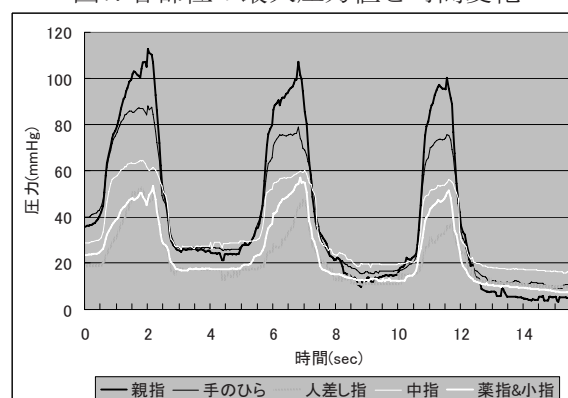


図8. 各部位の平均圧力値と時間変化

図7より、最大圧力は手の平、中指、薬指&小指はセンサーの測定レンジを大幅に上回っていることから大根を切断する場合はこの3箇所の部位で力強くグリップしていると考えられる。

一方、図8より平均圧力値の変化を見ると親指、

人差し指、薬指&小指が切断中の変化が大きい。図7の考察とあわせて検討すると親指、人差し指で細かな動作を制御し、薬指&小指はグリップした上で全体の動作の制御を行っているのではないかと考えられる。

このように包丁使用時の各部位の圧力変化を時系列で観測可能にすることで、切断動作中の各部位それぞれの働きを同定することが出来ることが確認できた。

4. まとめ

体圧分布センサーをグリップに巻きつけて動作中の圧力変化を測定する手法を考案し、手法を用いることでグリップと手のかかわりおよび、各部位の動きや働きを同定することが出来ることを確認した。

また、この測定手法にモーションキャプチャや筋電位計測などと組み合わせることにより、より詳細な製品使用時の評価が可能になると考えられる。

この技術レポートの測定手法はエルゴシーティング株式会社からの生活製品の評価に関する受託研究において考案し、既製品および、使いやすさを考慮した改良品の開発・評価に活用した。当所が位置する岐阜県内には刃物産地である関市もあることから、今後はユニバーサルデザイン包丁など、より使いやすい包丁の開発・評価にこの手法が活用出来ると考えられる。

参考文献

- 1) 野呂影勇, 製品開発のための手法, 第17回日本人間工学会システム大会論文集.

〔技術レポート〕

高齢者用肘掛の最適設計

成瀬哲哉*

Armrest position that considered human body size for elderly people

Tetsuya NARUSE*

1. はじめに

高齢化社会の到来に向け、高齢者の Quality Of Life の向上が求められている。

とりわけ、生活環境において長時間使用することになる椅子に関しては「使いやすさ」「座り心地の良さ」の向上のため高齢者に適した設計指針の導出が求められている。

本技術レポートでは着座時の肘掛け位置の最適化について検討し、高齢者に適した木製椅子の肘掛の設計指針の提案を行った。

2. 導出方法

2.1 被験者

「人体寸法を考慮した肘掛の最適位置」¹⁾「肩関節推定手法を用いた肘掛の最適位置の導出」²⁾より、人体寸法データベースを用いて肘を置くための最適位置を検討した。人体寸法データベース³⁾より肩峰幅・座位肩峰高・座位肘頭高・壁面肩峰間距離を使用し、図1に示すように基本姿勢における肩峰・肘頭の座標を把握した。

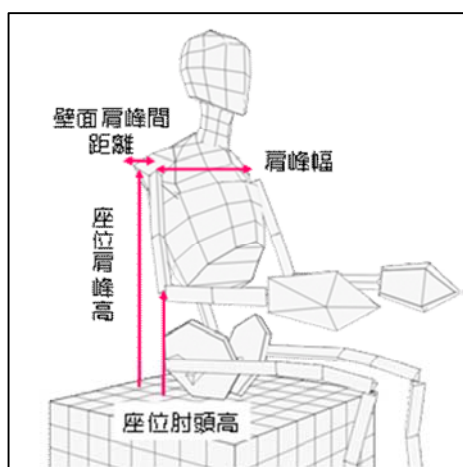


図1. 基本姿勢と人体寸法・座標

椅子に合わせて着座すると、上体が背もたれにあわせて後傾するため、基本姿勢を基に肩峰位置、上腕の動きから肘の位置を算出した。

図2に導出方法の概念図を示す。

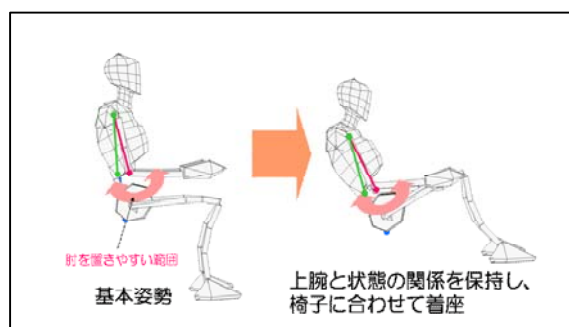


図2. 肘頭位置導出方法概念図

人体寸法データベースを基に肩峰位置を中心とし、肘頭の可動軌跡を重ね合わせて肘を置くための最適位置を導出した。データ群を全体だけでなく高齢者に絞り込むことにより高齢者に適した位置を算出した。

図3に高齢者の肘頭の軌跡を示す。

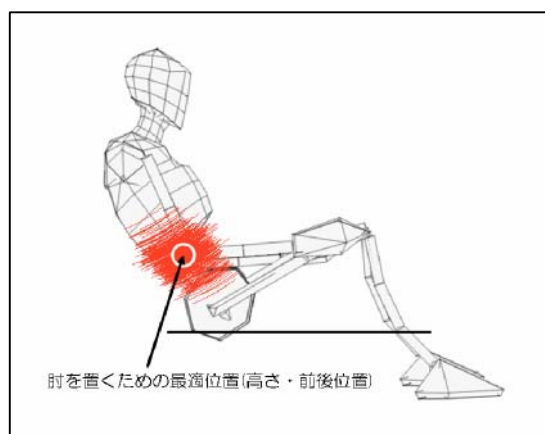


図3. 高齢者の肘頭の軌跡

* 試験研究部（シミュレーション研究室）

3. 導出結果

3.1 肘掛高さ

- 座面後端を基準位置とした肘掛高さ
 - ・高齢者：213mm
 - ・人体寸法データベース全体：233mm

3.2 肘頭を置く前後・左右位置

図4、図5に肘掛上面から見た肘を置くための前後・左右の最適範囲を示す。

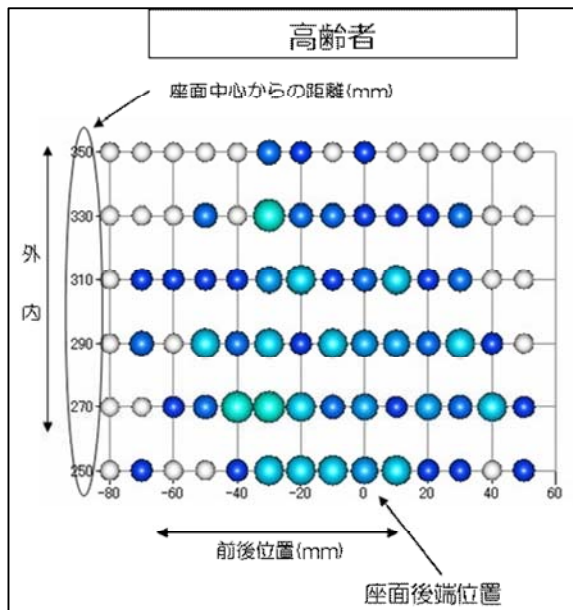


図4. 高齢者の肘頭の前後・左右位置

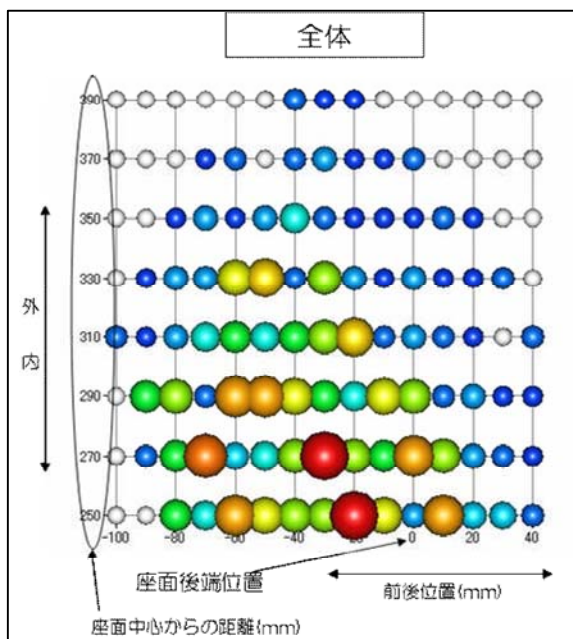


図5. 人体寸法データベース全体の肘頭の前後・左右位置

なお、カラーballの位置が使用範囲を示し、ballの大きさは肘頭の軌跡を重ね合わせた時、重なり合う頻度が高いことを示している。

3.3 肘掛形状の設計指針

肘掛は着座時に前腕を置くための機能を有するため、人体寸法データベースより前腕長を考慮し、3.2で求めた肘頭を置く範囲の前端から前腕長(肘頭－握り軸距離)を加算し、着座時に使用する場合に最低限必要と考えられる肘掛全体の形状を算出した。

●肘頭・握り軸距離

- ・高齢者
 - 95%ile 328mm
 - 50%ile 300mm
- ・全体
 - 95%ile 349mm
 - 50%ile 315mm

4. 設計指針・まとめ

「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15報) 人体寸法を考慮した肘掛の最適位置」「人間・生活者視点による人にやさしい製品開発(第3報) 肩関節推定手法を用いた肘掛の最適位置の導出」における人体構造と人体寸法に適した肘掛の導出方法とAIST人体寸法データベースを活用し、高齢者に適した肘掛位置の設計指針の導出を行った。

図6に設計指針の基準座標を示し、図7に肘頭を置く前後・左右位置および前腕長を加算した着座時に使用する場合に最低限必要と考えられる肘掛の形状指針を示す。

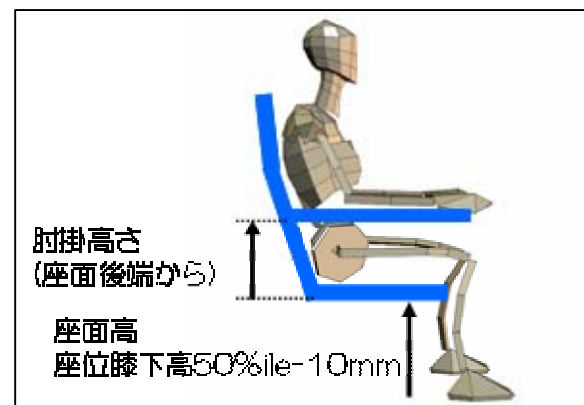


図6. 設計指針の基準座標

- 高齢者
 - 肘掛高さ(座面後端から)：213mm

(ただし、実際の製品に応用する場合はクッションの種類の違いによる沈み込みを考慮し、やや低く設定する必要がある)

肘掛前後長(座面後端位置から)：前側350mm、後側100mm

肘掛最大幅：120mm

座面高(座位膝下高50%ile-10mm)：359.5mm

●人体寸法データベース全体

肘掛高さ(座面後端から)：233mm

(ただし、実際の製品に応用する場合はクッションの種類の違いによる沈み込みを考慮し、やや低く設定する必要がある)

肘掛前後長(座面後端位置から)：前側350mm、後側100mm

肘掛最大幅：150mm

座面高(座位膝下高50%ile-10mm)：386mm

となった。

参考文献

- 1) 成瀬哲哉他, 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15報) 人体寸法を考慮した肘掛の最適位置, 岐阜県生活技術研究所報告書No. 9, 2007.
- 2) 成瀬哲哉, 人間・生活者視点による人にやさしい製品開発(第3報) 肩関節推定手法を用いた肘掛の最適位置の導出, 岐阜県生活技術研究所報告書No. 10, 2008.
- 3) 2005 AIST人体寸法データベース, 産業技術総合研究所H16PRO 287, 河内まき子・持丸正明.

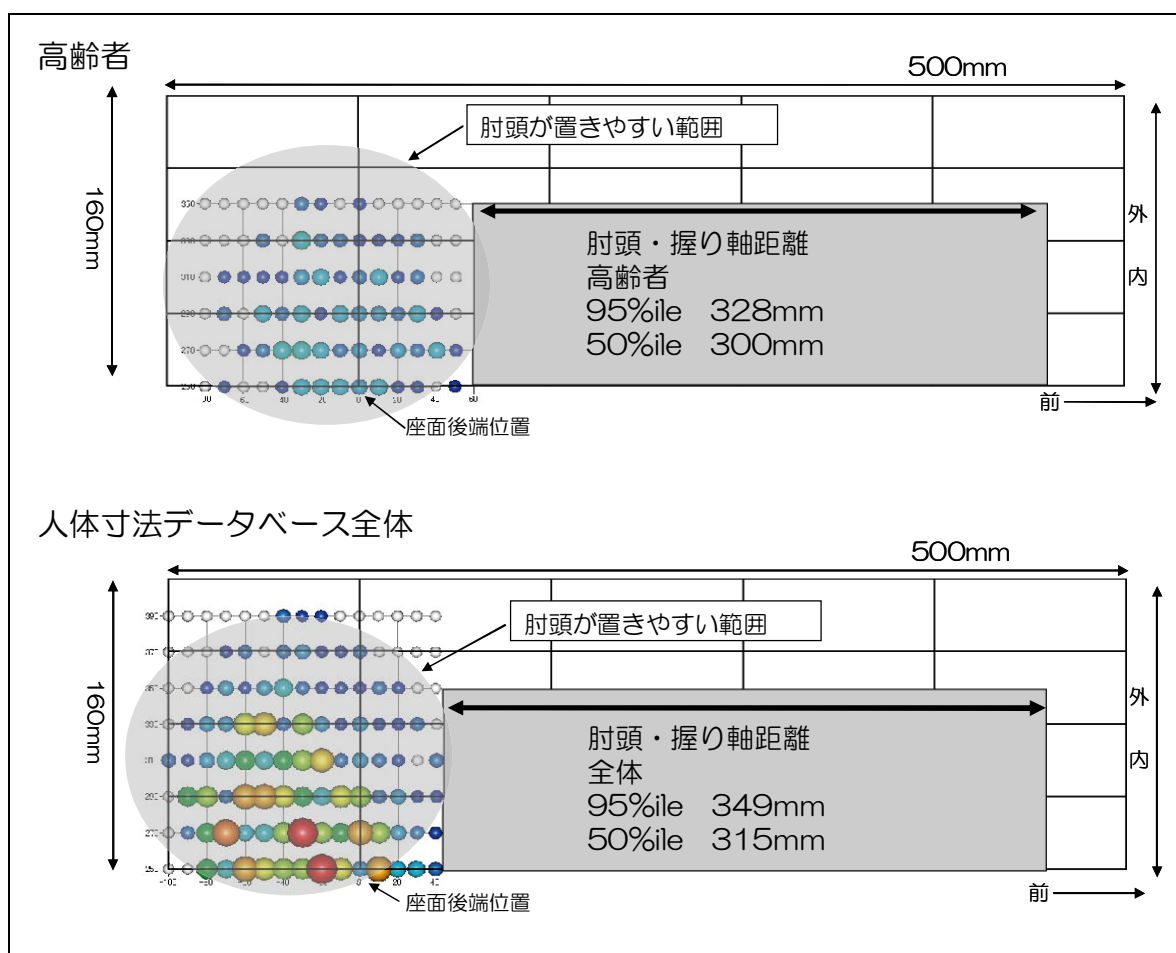


図7. 肘掛の形状指針