人間･生活者視点による人にやさしい製品開発（第1報）
長時間座位における人体の心理・生理的な変化と行動特性

藤巻 吾朗[*1]、安藤 敏弘[*2]

User-centered design: Development of a human-friendly product (I)
Psychological, physiological change and human behavior during a prolonged sitting

Goroh FUJIMAKI[*1], Toshihiro ANDO[*2]

長時間椅子に着座した際の人体の生理・心理・行動的な変化を調査した結果、痛みなどの自覚症状と生理的な変化、さらには、それに対応した行動を把握することができた。また、生理的な変化をもとに、長時間座ることで感じる痛みにも大きく分けて二つの種類があると考えられた。一つは直接ものが身体に当たることで生じる痛みであり、もう一つは、肩こりや腰痛、だるさ、しびれといった感覚であった。前者の痛みについては、体圧分布測定や官能検査などの手法により、短時間で確認することができるため、後者と比べて問題は少ないと思われる。後者については、循環器系が関わる痛みであると推測され、これを確認するためには少なくとも 15 分から 20 分程度の時間は座る必要があると考えられた。また、この痛みの感覚は多少の身体の動きでは解消されにくく、解消には同様に 15 分から 20 分の時間が必要であると推測された。むくみについては、痛みという感覚を伴いにくく、ある程度むくみが進行した段階でだるさや重さといった感覚で知覚されるようである。また、むくみはだるさや重さの感覚と同様に多少の身体の動きでは解消されにくいため、長時間座位を想定した椅子の設計の際には留意する必要がある。

1. 緒言

短時間と長時間では椅子の座り心地は異なるにもかかわらず、椅子を購入するときはショールームなどで短時間座り、購入を決めることがほとんどである。そのため、購入後、実際に長時間座ってみると購入時にはわからなかった不満を感じることが多々ある。現状では、長時間座位に関する知見は少なく、長時間座ったときの人体の生理的な変化や心理的な反応、身体の動きなどの行動がどのように対応しているかは明らかになっていない。そこで、本研究では、長時間座位に関するケーススタディとして、長時間椅子に着座した際の人体の生理・心理・行動的な変化を調査し、互いの対応関係や長時間座位における留意点について検討を行う。

[*1] 試験研究部（シミュレーション研究室）
[*2] 機械材料研究所

2. 実験方法

2.1 実験概要

8名の被験者（表1）を対象にダイニングチェア、休息用椅子の2条件について、それぞれ1時間座ってもらった（図1）。その間、生理指標として心電図、呼気二酸化炭素分圧、下肢のむくみ、体表面の温度の測定を行い、心理的、行動的な指標として、アンケート調査、聞き取り調査、行動記録を実施した。また、男性被験者5名については、肩周辺の血行動態についての測定も行った。実験中は、被験者にはＴＶ観賞を行ってもらい、足を組む／あぐらをかくといった行動以外は、身体の動きや姿勢変化は自由に行ってもらった。痛みやしびれなどの自覚症状については、被験者が感じた時点で発話してもらうように教示した。なお、実験は条件ごとに同じ時間帯で2日に分けて行い、各条件での測定前に20分間の臥位安静状態で心電図、呼気二酸化炭素分圧、下肢のむくみの測定した（男

性被験者については、さらに肩周辺の血行動態を臥位安静状態で記録した)。実験時の室内環境については、室温25度、湿度40%に設定した。

表1 被験者の身体特性

	性別	年齢	身長(cm)	体重(kg)
S1	男性	33	161.6	55.3
S2	男性	36	165.2	67.6
S3	男性	39	165.6	68.9
S4	男性	26	172.9	50.6
S5	男性	32	178.6	78.0
S6	女性	29	157.3	43.2
S7	女性	24	161.7	58.9
S8	女性	34	171.4	53.1

図1 実験に使用した椅子

2.2 測定項目

2.2.1 心電図

自律神経系の働きを調べるため、心電図をサンプリング周波数1KHzで記録した。測定にはベッドサイドモニタ(BSM-9510 日本光電)を用いた(図2)。測定結果より得られたR-R間隔の変動をもとに交感神経系の指標であるLF/HF、副交感神経系の指標であるHF/TPを5分ごとに算出した。

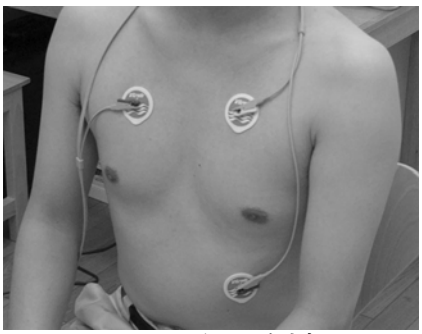


図2 心電図の測定

2.2.2 終末呼気二酸化炭素分圧($ETCO_2$)

代謝の働きを調べるため、終末呼気二酸化炭素分圧($ETCO_2$)を3秒に1回のサンプリング周期で測定した。測定にはベッドサイドモニタ(BSM-9510 日本光電)にCO_2センサキット(TG-920P 日本光電)を接続し、鼻口呼吸用のアダプタ(YG-121T 日本光電)を装着して使用した(図3)。測定結果は発話時などのエラー値を除外した後に5分ごとに区間平均を算出した。$ETCO_2$を決定するのは、①肺胞の換気量②循環(心拍出量)③代謝(組織でのCO_2産出量)であり、$ETCO_2$は動脈血二酸化炭素分圧と高い相関がある。今回の実験では、呼吸数等の統制はとらなかったため、心電図や行動観察とあわせることで、データの解釈を行った。

図3 $ETCO_2$の測定

2.2.3 下肢のむくみ

下肢の体液循環の働きを調べるため、生体電気インピーダンス法による下肢のむくみ測定を行った。測定には2.5～350kHzの電流を140段階で身体に流すことのできる多周波数方式体脂肪計(MLT-30 積水化学工業)を用いた。電極は図4に示した位置に貼り付け、下肢の体積の変化を5分間ごとに記録した。測定結果から推定された周波数0時の理想状態での抵抗値をもとに逆数を求めて、その値を下肢のむくみの指標とした。

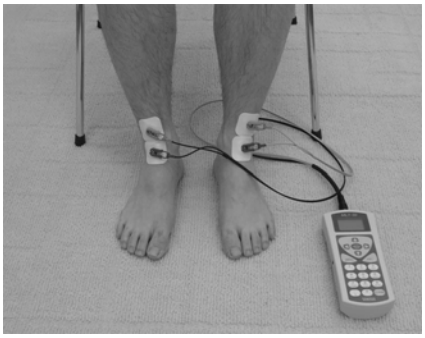


図4 下肢のむくみ測定

2.2.4 体表面の温度

指先や足の温度変化を調べるため、体表面温度を記録した。測定には、サーモトレーサ(TH9260 NEC三栄)を使用し(図5)、被験者には靴下を脱いでもらった状態で5分間ごとに熱画像を記録し

た。測定結果をもとに、手や足の指先の温度を抽出し、温度変化の状態を調べた。

図5 体表面温度の測定

2.2.5 NIRS（局所的な酸素代謝の把握）

首から肩にかけての血行動態を調べるため、近赤外線分光法（NIRS）により酸素化ヘモグロビン（oxy-Hb)、脱酸素化ヘモグロビン（deoxy-Hb）の変化をサンプリング周波数1Hzで記録した。測定には、レーザー組織血液酸素モニタ（BOM-L1TRW オメガウェーブ）を使用し、左右の僧帽筋上部で測定を行った。

図6 僧帽筋上部の血行動態の測定

2.2.6 聞き取り調査

痛みやしびれなどの自覚症状については、被験者が感じた時点で発話してもらうように教示し、同時に15分ごとに実験者による聞き取り調査を実施した。聞き取り項目としては、身体の痛みや不快感に関することや、眠気などの精神状態や呈示映像に関することであった。

2.2.7 行動記録

実験者2名により行動観察を行った。姿勢変化などの身体の動き、発話（痛み等の自覚症状)、深呼吸やあくび等の呼吸の大きな変化。心電図や呼気に大きな変化があった時刻ならびにその際の映像や行動の記録を行った。

2.3 実験手順

①仰臥位で安静にしてもらい、20分間の心電図、$ETCO_2$、（男性被験者については、肩周辺の血行動態）の測定
②20分間が終了した時点で下肢のむくみ測定
③椅子に座ってもらいアンケートの記入
④アンケート終了後、1時間の心電図、$ETCO_2$、体表面温度、（男性被験者については、肩周辺の血行動態）の測定、行動記録ならびに15分ごとの聞き取り調査
⑤1時間の測定終了後、アンケートの記入
⑥アンケート結果および行動記録をもとに聞き取り調査

3. 結果と考察

3.1 自覚症状と行動特性

聞き取り調査の集計結果を図7に示す。また、実験時に観察された身体の動きなどの行動の集計結果を図8に示す。

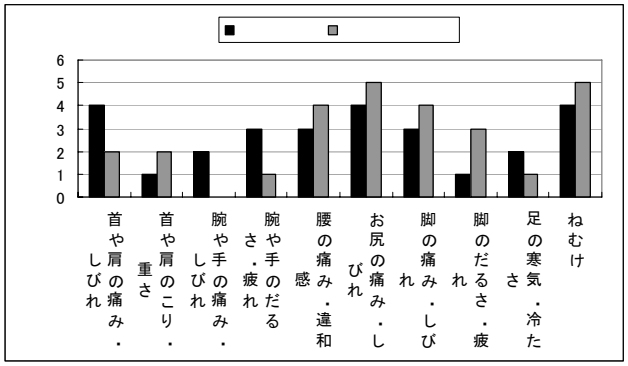


図7 自覚症状の集計結果

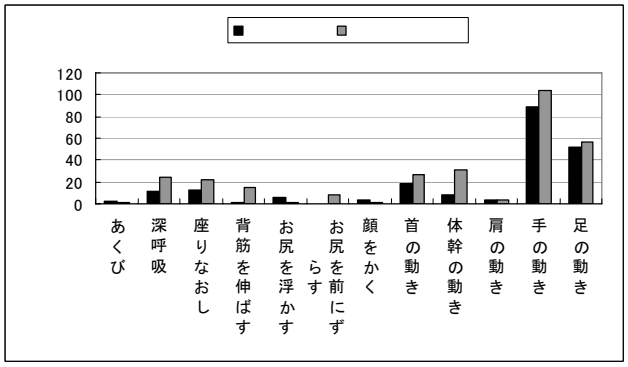


図8 行動の集計結果

図7、図8に示した自覚症状と行動との対応関係を調べるため、各被験者、各条件ごとに、観察された行動の回数と自覚症状を集計し、対応分析を行った。図9は対応分析の結果であり、図中の点の距離が近いものほど、ある自覚症状を感じたときにその行動をとっていることを示す。

距離の近いものの例をいくつか挙げると、「首・肩の痛み・しびれ」を感じた際には首の動きや体幹部の動きが多く、「腰の痛み・違和感」を

感じた際には、体幹部の動きや座りなおし、お尻を浮かす、背筋を伸ばすといった行動、「腕・手の痛み・しびれ」「ねむけ」では、肩の動き、「脚の痛み・しびれ」「首・肩のこり、重さ」については、お尻を前にずらす、深呼吸が多く観察された。分析結果の中でも脚の動きや手の動きについては、非常に多く観察された行動であり、自覚症状とは別の原因が関係している可能性が高く、あくび、お尻を浮かす、顔をかくについては例数が少なかったため、今回の実験結果では明確な対応関係が見られなかったと考えられる。

観察された行動は対応する自覚症状を緩和するための行動であると考えられ、座った際に身体のどの部位に負担を感じているかを把握するための一つの指標として捉えることができる。一つの自覚症状に対応する行動は一つではなく複数あることが考察されたが、基本的には痛みなどの自覚症状を感じた部位を動かすことが確認された。

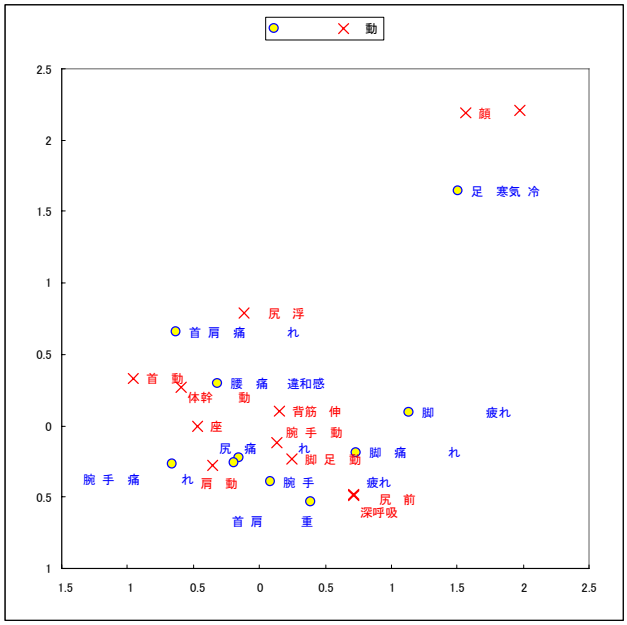


図9 対応分析結果

3.2 自覚症状と生理的な変化

3.2.1 痛み

痛みを感じた際には、LF/HFが増加し、HF/TPが減少する傾向がみられた（図10）。これは、痛みを感じた際には、交感神経の働きが活発になることを示しており、身体の大きな動きがない場合には、副交感神経の影響は小さいが、身体の大きな動きが伴った場合には、痛みに加えて動作による影響で交感神経の活動がより活発になり、副交感神経の活動が抑制されることを示していると考えられる。また、今回の実験では、痛みの自覚がない場合でも同様の生理的な反応があった。これは、映像の影響であり、急に音が大きくなる、嫌いな映像が流れるなどの場面で同様の反応がみられた。

また、腰やお尻の痛みに関しては後述するだるさ・しびれの感覚と同様の反応を示していることが確認された。

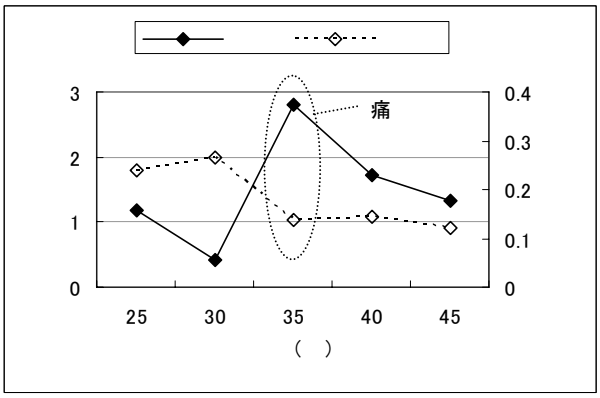


図10 交感神経と副交感神経の変化（結果の一例）

3.3.2 だるさ・しびれ

だるさやしびれの感覚については、同様の生理的な反応を示す傾向がみられた。反応には2種類があり、だるさ・しびれを感じた時点から15分～20分前の時間でLF/HFとHF/TPの協調した変化（図11）、もしくはHF/TPの増加とともに$ETCO_2$が低下するものであった（図12）。LF/HFとHF/TPの協調した変化については、本来、交感神経と副交感神経は拮抗する関係にあるが、このような反応は、疲労等による自律神経系の機能の低下を表している可能性が考えられる。HF/TPの持続的な増加は副交感神経の活動が優位になるということであり、これは安静・リラックス状態にあることを示している。それとともに血中のCO_2分圧が下がるということは、心拍数にあまり変化がないことから、組織でのCO_2産出量の低下、もしくは、換気量の低下が考えられ、細胞組織での酸素代謝が減っている、肺の中のCO_2が体外に排出される割合が減少しているということが考えられる。組織でのCO_2産出量の低下については、細胞が酸素を必要としていない、もしくは細胞での酸素交換が上手くいっていないと考えることができる。臥位姿勢に比べて座位姿勢では、脳の覚醒度や筋肉の活動が高く、酸素消費量は高い。吸気量が一定だと仮定した場合、$ETCO_2$が低いということは、座位姿勢はCO_2が体内に溜まりやすいことを示していると考えられる。今回は$ETCO_2$のみの測定であり、これを明らかにするためには、より詳細な呼気ガス分析を行う必要がある。

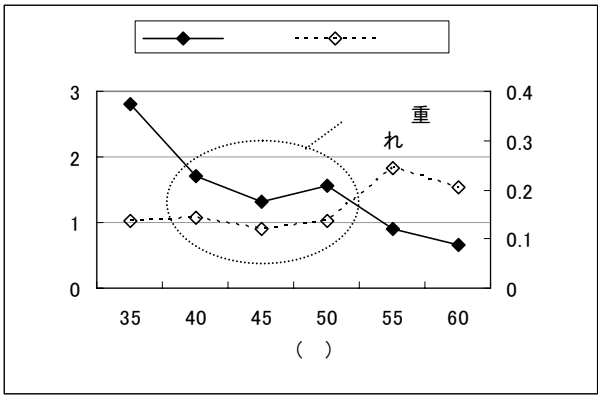


図11 交感神経と副交感神経の変化（結果の一例）

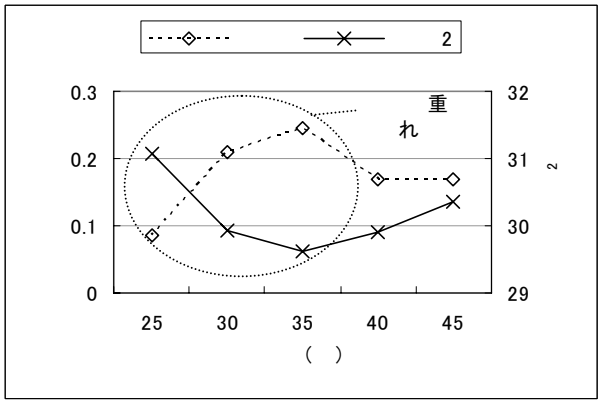


図12 副交感神経とETCO2の変化（結果の一例）

3.3.3 肩のこり・重さ

肩のこり、重さについては、前述しただるさ、しびれの感覚と同様の反応がみられた。肩周辺の血行動態については、肩こり、重さを感じた条件と感じなかった条件との間に顕著な差はみられなかった。

3.3.4 むくみ

脚のむくみについては、むくんだ感覚という報告はなく、恐らく、脚のむくみに伴うだるさ、重さといった自覚症状が報告された。また、実際にむくんだ量とだるさや重さなどの自覚症状との対応関係は明確ではなかった。今回の実験では、下肢のむくみは心電図や呼気ガスとの関連性は見られなかったことから、下肢の血行動態は心拍変動の影響をあまり受けないことが示唆された。過去の研究成果より、むくみは姿勢の影響が大きく、下肢と心臓との高低差が最も強く関係していると考えられる。今回の実験結果でも、心臓との高低差の小さい休息用椅子ではむくみの進行がほとんど見られなかったが、心臓との高低差の大きいダイニングチェアでは、むくみが進行した（図13）。また、むくみは解消しにくく、身体の大きな動きで解消された事例が2件あったが（図14）、多少脚

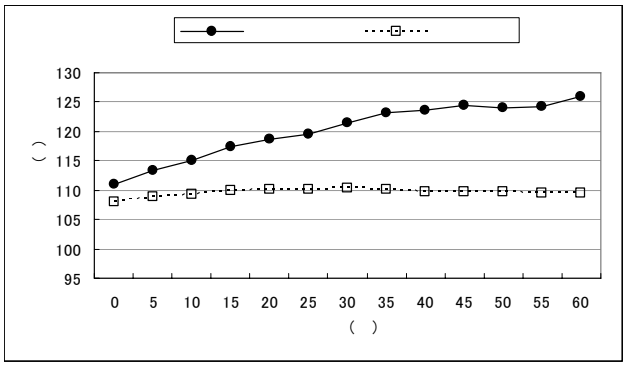


図13 むくみの進行（結果の一例）

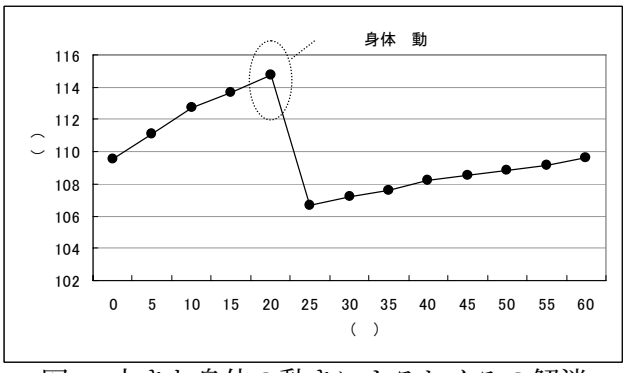


図14 大きな身体の動きによるむくみの解消（結果の一例）

を動かす程度ではむくみは解消しなかった。

3.3.5 足の冷え

足の冷えの自覚症状を訴えた被験者が2名いたが、両者ともに足の温度が実験開始時より5℃～10℃低下していた（図15～図16）。他の被験者については、実験開始時と実験終了時での足の温度差は小さかった。自覚症状と足の温度の絶対値との間に対応関係は見られなかった。

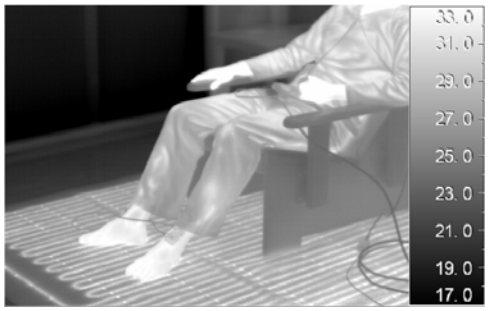


図15 足の温度低下の一例（実験開始時）

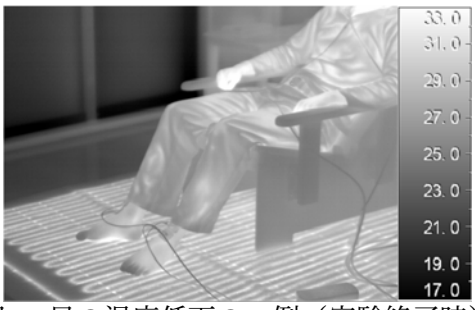


図16 足の温度低下の一例（実験終了時）

3.3.6 眠気

眠気を感じた際には、LF/HFの持続的増加、HF/LFの持続的な低下が見られた（図17）。これは、実験環境で眠気を感じた際、被験者が起きていようと我慢していたために交感神経の活動が活発になったためであると考えられる。

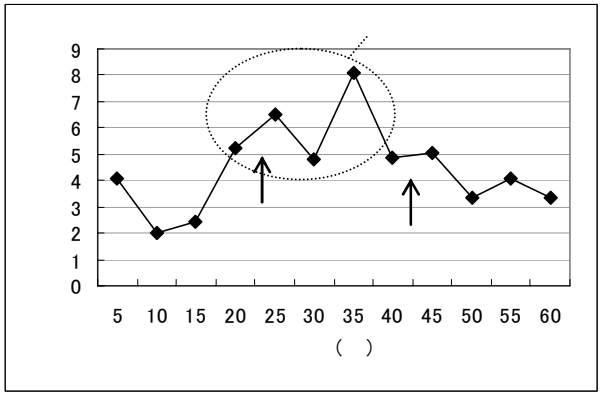


図17 眠気と交感神経（結果の一例）

3.3 心理・生理的変化と行動特性

椅子に身体が直接当たることで生じる痛みについては、生理的な変化と自覚症状の報告がほぼ同時に起きており、多少身体を動かすことですぐに痛みは解消し、生理的なデータもすぐに元の状態に戻っていた。だるさやしびれの感覚については、15分から20分程度のある特定の生理的な変化の状態が続いた後に自覚症状を訴えており、対応した行動をとることで生理的な変化は起こるものの、1例を除き、だるさやしびれの感覚はすぐに解消せず、解消するのに15分から20分間の時間を要した。下肢のむくみについては、すべての被験者でむくみが進行していたにもかかわらず、足のだるさやしびれの自覚症状を訴えたのは3名のみで残りの5名について自覚症状はなかった。下肢のむくみは足を動かすような小さな身体の動きでは解消されず、上半身の大きな動作で解消された事例が2件あった。足の冷えについては、自覚症状はあるものの対応した行動はみられなかった。また、映像・音などの影響による生理的な変化は短時間で元の状態に戻っており、それに伴う行動は観察されなかった。

以上の知見を踏まえ、長時間椅子に着座した際の人体の生理・心理・行動の対応関係の概略図を図18に示す。長時間椅子に座ると、そのときの身体の状態や室内環境などの影響により、生理的な変化が起こる。生理的な変化が起きた際には、自律神経系や内分泌系の働きにより、身体の状態は正常に保たれるが、それらの調節では対応しきれない、もしくはそれらの機能が低下した状態の時には、一種の危険信号として心理的な変化を引き起こし、痛みなどの自覚症状として現れることが推察される。その際には、対応した行動をとることで、身体にかかる負担の軽減や体液循環を促し、身体の状態を正常に保っていることが考えられる。また、本来であれば自覚症状を伴うような生理的な変化が起きても、何かに集中していると本人は気づかないことも多く、その際は、無意識に対応した行動をとることで調節を行っていると考えられた。また、今回の実験では、下肢のむくみや冷えについては生理的な調節や行動による調節では身体の状態を正常な状態に戻すことができなかったが、この状態が続くことで、不快感だけでなく、場合によっては、健康面への問題も起こることが推測される。

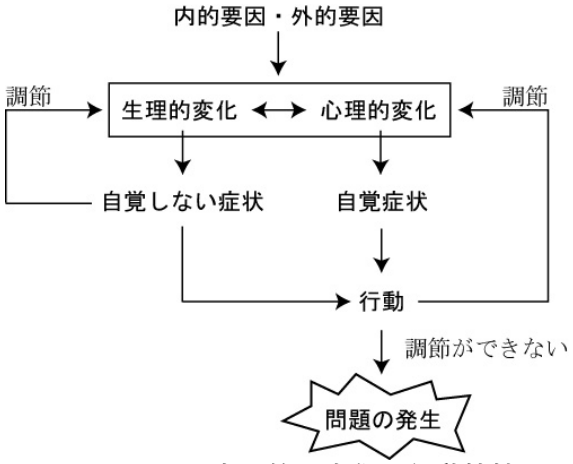


図18 心理・生理的な変化と行動特性

4. まとめ

長時間座ることで感じる痛みにも大きく分けて二つの種類があると考えられた。一つは直接ものが身体に当たることで生じる痛みであり、骨が出た部位（頚椎、肩胛骨、背骨、座骨結節）に強い力がかかる際に生じる感覚であると考えられた。もう一つは、いわゆる肩こりや腰痛、だるさ、重

さといった感覚であり、このような感覚が生じた際には、痛みとして知覚されることが多いことがわかった。前者の痛みについては、体圧分布測定や官能検査などの手法により、短時間で確認することができるため、椅子の購入段階で確認することができ、後者と比べて問題は少ないと言える。しかし、後者については、循環器系が関わる痛みであると推測され、これを確認するためには少なくとも15分から20分程度の時間は座る必要があると考えられた。また、この痛みの感覚は多少の身体の動きでは解消されにくく、解消するためには同様の時間が必要であると推測された。

むくみについては、痛みという感覚を伴いにくく、ある程度むくみが進行した段階でだるさや重さといった感覚で知覚されるようである。また、むくみはだるさや重さの感覚と同じ様に多少の身体の動きでは解消されにくいため、だるさや重さといった感覚と同様に長時間座位を想定した椅子の設計の際には留意する必要がある。

今回の調査から、長時間座位の評価の際に着目すべき点や行動などを抽出することができた。また、生理的な変化と心理的な変化、行動との対応関係を把握することができた。しかし、現状ではケーススタディの段階であり、まだ事例も少ないため、得られた知見をもとに今後は基礎実験を通して明らかにしていくことが望まれる。また、心理的な自覚症状だけでなく、健康面への配慮も必要となると考えられる。

文献

1) 本郷利憲ら：標準生理学，9 章，循環，2005.
2) 安藤敏弘ら：岐阜県生活技術研究所研究報告，No.7，pp.1-3，2005.
3) 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.
4) (独)産業技術総合研究所人間福祉医工学研究部門(編)：人間計測ハンドブック，朝倉書店，2003.
5) 日本生理人類学会計測研究部会(編)：人間科学計測ハンドブック，技報堂出版，1996.

人間･生活者視点による人にやさしい製品開発（第2報）
立位・座位姿勢での人体の3次元形状

藤巻 吾朗*

User-centered design: Development of a human-friendly product (II)
Three-dimensional shape of a human body in standing and sitting posture

Goroh FUJIMAKI*

立位姿勢と座位姿勢での人体の三次元形状の測定を行った。その結果、立位・座位姿勢の形状変化は主に腰椎の彎曲（骨盤の角度）と体幹部の傾斜（胸部の前後位置）で表すことができることが確認された。立位姿勢に比べ、座位姿勢では骨盤が後方に回転し、それに伴い腰椎部は後彎することがわかった。さらには、立位姿勢に比べて、背あてを使用しない座位姿勢では上半身が前方に傾斜し、背あてを使用した座位姿勢では後方に傾斜することが確認された。また、立位・座位姿勢について平均形状を求めモックアップを作成した。

1. 緒言

家庭用椅子の多くは木製であり、木製椅子は自動車シートや事務用椅子と比べて調節機構を持たず、特にダイニングチェアについてはクッションが薄い、もしくはクッションがないものも多い。そのため、椅子が大きすぎる／小さすぎることや硬いことによる痛みや不快感が生じやすいという問題がある。このような背景にも関わらず、家庭で使用する椅子の大半は木製椅子であり、消費者は木の温もりや暖かさなどに魅力を感じていることが伺える。木の魅力を最大限に生かすためには、木製椅子のサイズや硬さの問題を改善し、使用者に不快感を与えないことが重要となってくる。木製椅子が抱える硬さの問題の改善には、圧力分散の観点から形状を使ったアプローチが有効であると考えられる。背もたれの形状については従来から様々な検討がされており、これらは立位姿勢での人体形状を基準にしている。しかし、座位姿勢と立位姿勢は違う姿勢であり、その形状の違いがまだよくわかっていないにも関わらず、立位姿勢を良い姿勢と仮定している点に疑問が残る。そこで、本研究では立位姿勢、座位姿勢での人体形状を把握することを目的とし、両者の形状の違いや人による形状変化のばらつきについて検討する。

* 試験研究部（シミュレーション研究室）

2. 実験方法

2.1 実験概要

11名の男性被験者について、人体の解剖学的特徴点（計46点）をマーキングし、人体の三次元形状の測定を行った。測定条件は立位姿勢（ISO 20685準拠）、丸椅子着座（丸椅子に座り背あてを使用しないで座った姿勢）、実験椅子着座（座面角0度、背面角100度の実験椅子[1)]に座り、縦幅15 mmの背あてで上体を支えた姿勢）の計3条件で（図1）、各条件でおよそ10秒間の測定時間であった。

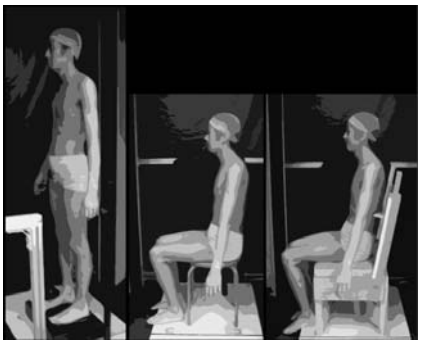


図1 測定条件

測定の際、被験者には前方を見ていてもらうよう教示をし、座位姿勢の2条件については、座った時の臀部の後端位置を指定し、被験者が楽に座れ

る姿勢をとってもらった。人体の三次元形状の測定は、産業技術総合研究所デジタルヒューマン研究センターの協力により、浜松ホトニクス株式会社製のボディラインスキャナを使用した。

2.2 相同モデルの作成

測定結果については、人体の解剖学的特徴点29点を選定し、その特徴点をもとに相同モデルを作成した（図2～図4）。立位姿勢と座位姿勢での形状変化の分析には、相同モデルのデータを使用した。

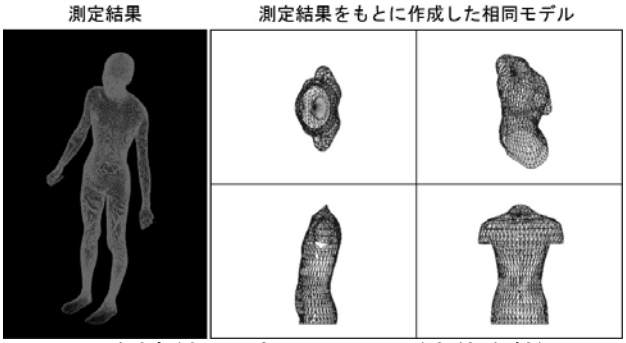


図2 測定結果と相同モデル（立位姿勢）

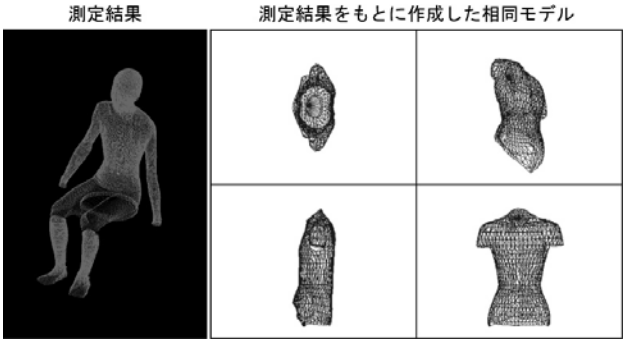


図3 測定結果と相同モデル（丸椅子着座）

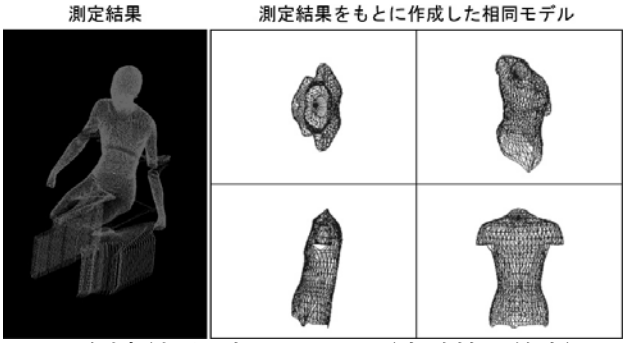


図4 測定結果と相同モデル（実験椅子着座）

3. 結果と考察

3.1 多次元尺度法による人体形状の分布

体格差をなくし、形状変化のパターンを調べるため、作成した相同モデルを標準化し、多次元尺度法による分析を行った。その結果、立位姿勢と座位姿勢での形状変化は主に2つの軸で表すことができると考えられた（RSQ=0.91）。図5は立位姿勢と座位姿勢での三次元形状の分布を示したものである。横軸は体幹部の傾き（胸部の前後位置）であり、縦軸は腰椎の彎曲（骨盤の角度）を表す。また、軸上の形状変化を詳細に検討した結果、体幹部が傾く際には胸部の前後位置の変化に比べて肩の前後位置の変化は小さく、腰椎の後彎の際には骨盤が後方に回転し、それに伴い臀部の幅が広くなることが確認された。

立位姿勢や実験椅子に座った姿勢と比べて、丸椅子に座った姿勢では人による腰椎彎曲のばらつきが大きかった。これは、背あてを使用しない座位では姿勢が定まりにくいためであると考えられた。体幹部の傾きについては、どの姿勢についてもばらつきがあり、これは胸部の姿勢は個人差がでやすいことを示唆しているものと考えられた。

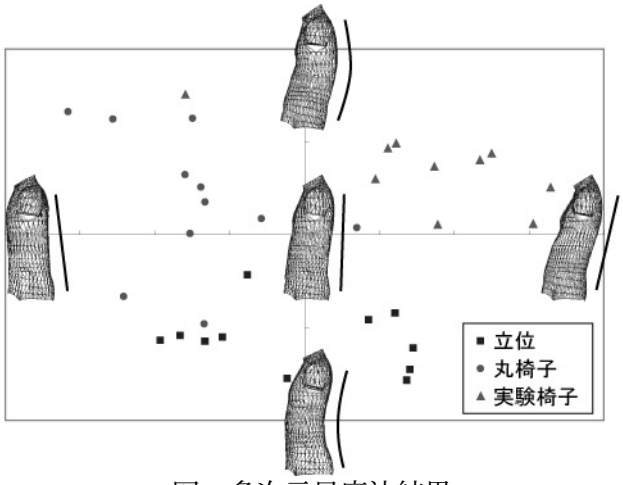


図5 多次元尺度法結果

3.2 姿勢による形状の違い

体幹部の傾きについて一元配置の分散分析を行った結果、姿勢により体幹部の傾きに影響を与えることがわかった（$p<0.01$）。立位姿勢に比べて背あてを使わない丸椅子では体幹部が前方に傾斜し（$p<0.01$）、背あてを使用した実験椅子では後方に傾斜することが確認された（$p<0.01$）（図6）。

腰椎の彎曲について一元配置の分散分析を行った結果、姿勢により腰椎彎曲に影響を与えることが確認された（$p<0.01$）。立位姿勢に比べて座位姿勢では、骨盤が後方へ回転することで腰椎が後彎し、それに伴い臀幅が広くなることが確認された（$p<0.01$）。また、背あてを使用しない丸椅子に比べ、背あてを使った実験椅子では、腰椎の後彎は大きかった（$p<0.05$）（図7）。

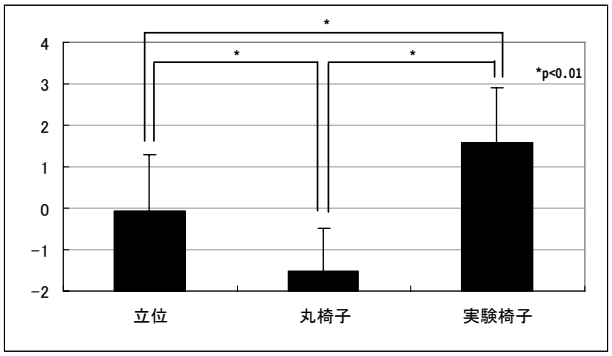


図6 姿勢による腰椎の彎曲の比較

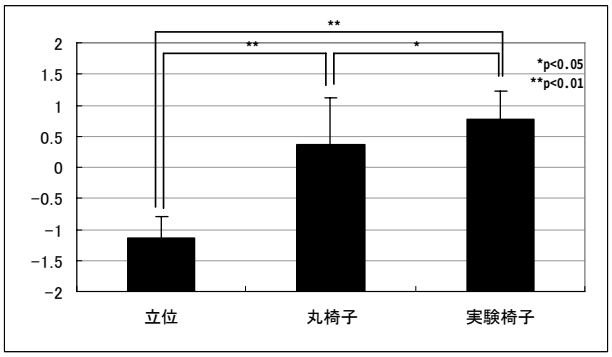


図7 姿勢による体幹部の傾斜の比較

3.3 木製椅子の設計の基準となる姿勢の検討

今回の実験結果から、立位姿勢に比べ、座位姿勢では骨盤が後方に回転し、それに伴い腰椎部は後彎することが確認された。従来、椅子の設計には、立位姿勢が基準とされてきたが、腰椎の前彎は座位姿勢では必ずしも必要ではないと考えることができ[2, 3]、立位姿勢のような腰椎の前彎がなくても、身体を適切に支持することで腰への負担は軽減されることが考えられる[4]。また、立位姿勢を基準にした形状では、座位姿勢でその形状をとることが困難もしくはできないため、人体との適合性は下がり、局所的な負荷による身体の痛みや不快感を生じることが考えられる。以上のことから、木製椅子設計の際には、立位姿勢ではなく、座位姿勢での人体形状を基準にした方が圧力の集中を防ぎ、無理なく身体を支えるという点から推奨できるのではないかと考えられた。

3.4 平均形状のモックアップモデル

各姿勢による形状の違いを実際に手で触れて確認できるように、それぞれの姿勢について11名の被験者の平均形状を求め、縮尺1/5のモックアップを作成した（図8）。実験椅子は先行研究においてダイニングチェアで推奨される角度条件の椅子であり[5]、求めた平均形状は木製椅子設計の際の参考や試作した椅子の設計値の確認等に利用することが可能となると考えられたため、実験椅子に着座した姿勢については、縮尺1/1のモックアップも同様に作成した。

図8 平均形状（前：1/5、奥:1/1）

4. まとめ

今回の実験結果から、立位・座位姿勢の形状変化は主に腰椎の彎曲（骨盤の角度）と体幹部の傾斜（胸部の前後位置）で表すことができることが確認された。立位姿勢に比べ、座位姿勢では骨盤が後方に回転し、それに伴い腰椎部は後彎することがわかった。また、立位・座位姿勢について平均形状を求めモックアップを作成した。今後は立位から座位に姿勢を変えたときの形状変化のモデル化や求めた平均形状をもとに椅子の試作を行い、心理的・生理的な評価による妥当性の検証を行う予定である。

謝辞

本研究は平成19年度地域産業活性化支援事業での補助により実施致しました。ご指導、ご助言を頂いた産業技術総合研究所デジタルヒューマン研究センターの持丸正明様、河内まき子様、ならびに研究にご協力いただいた皆様に感謝致します。

文献

1) 藤巻吾朗ら：岐阜県生活技術研究所研究報告, No.8, pp.12-16, 2006.
2) 下出真法：生活のための工学, 野呂影勇(編), 第 4 章, 日本放送出版協会, pp.61-70, 1992.
3) 野呂影勇：座再考, バイオメカニズム学会誌, Vol.31, No.1, pp.3-7, 2007.
4) Hirao, A., Kitazaki, S., Yamazaki, N.: Development of a New Driving Posture Focused Biomechanical Loads, SAE Paper, 2006-01-1302 (2006).
5) 成瀬哲哉ら：岐阜県生活技術研究所研究報告, No.7, pp.28-32, 2005.

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

成瀬 哲哉*

User-centered design: Development of a human-friendly product (III)

Armrest position that considered human body motion and structure

Tetsuya NARUSE*

人体構造を考慮した木製椅子の肘掛の最適位置を導出するため、モーションキャプチャシステムを用い被験者 10 名の着座し肘掛けを使用する動作を計測し、「肩関節の推定手法」[1]により肘掛けを使用する場合の肩関節の動きおよび可動域を解析・同定し、最適な肘掛位置の導出方法を考案した。

その結果、人体寸法を基に標準化することにより肩関節中心位置のばらつきが排除され、胸郭､肩峰などの身体特徴点から肘掛けを使用する場合の肩関節中心の推定が可能となった。

この結果に上腕の可動範囲と上腕長を組み合わせることで肘の軌跡が算出でき、人体寸法データベースと組み合わせることにより、日本人全体や若年層、高齢者など想定されるユーザー層の体形に合った、適切な肘掛の配置を推定することが期待できる。

1. 緒言

人体寸法を考慮した最適な肘掛位置を導出する場合、座位肘頭高が重要な因子として利用される。座位肘頭高の計測姿勢と肘掛けを用いる座位姿勢は異なるため、人体寸法を設計寸法に変換するには、設計者のノウハウが必要であった

当所の過去の研究[2]では、上肢を体表面上にある肩峰位置を中心としたボールジョイントとして上腕（肩-肘）を動かすリンク構造としてモデル化を行い、肘掛けを用いる座位姿勢を再現し、さまざまな人体寸法のユーザにおける肘の位置を推定することで、合理的に最適な肘掛位置を導出する方法を提案した。

しかし、より最適な肘掛位置を算出するためには、体表面上の肩峰位置ではなく、人体内部にある肩関節中心をモデル化して肘の位置を推定する必要がある。しかしながら、肩関節は単一の関節ではなく、表1のような複雑な構造を持つ肩関節複合体であり、これらの構造を厳密にモデル化することは難しい。

表1 肩関節の構成

骨	上腕骨･肩甲骨･鎖骨･胸骨･肋骨
関節	肩甲上腕関節･胸鎖関節･肩鎖関節
機構	肩甲胸郭機構･烏口鎖骨機構･肩峰下滑動機構

そこで、モーションキャプチャシステムを用いた「機能的肩関節中心の推定手法」[1]により、肩関節複合体の挙動を同定し、それにもとづく上肢のリンク構造モデルから肘の位置を推定し、最適な肘掛位置を導出する方法を考案した。図1に肩関節のモデル化概念図を示す。

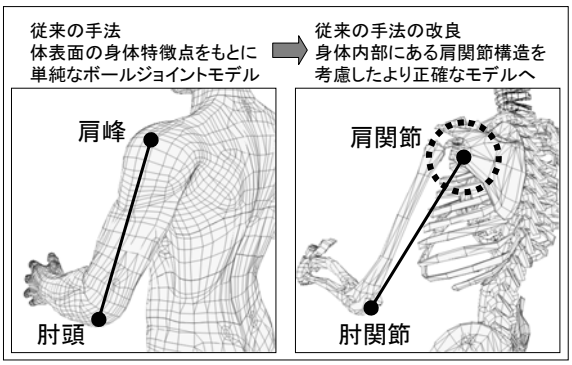


図 1 肩関節のモデル化概念図

* 試験研究部（シミュレーション研究室）

2. 実験

2.1 静的動作の測定実験

着座し肘掛けを使う動作は肩、上腕を関節可動域限界まで動かすことは無く、動作速度も遅い静的動作である。一方でモーションキャプチャシステムを用いた「肩関節中心の推定方法」において被験者は上肢を関節可動域限界まで大きく動かす動的動作により肩関節中心を求めている。

そのため、肘掛けを使用するような静的動作をモーションキャプチャシステムにて計測し肩関節中心が推定が可能かどうか実験を行った。

被験者は1名（身長1650 mm　体重66 kg)、実験椅子の座面高さは450 mm、肘掛台の高さは座面最上面から250 mm、280 mm、310 mmの3段階に設定し被験者は以下の2動作を行い、をモーションキャプチャシステムにより計測し「機能的関節中心推定プログラム」を用いて肩関節中心の解析を行った。図2に実験風景を示す。

1) 肘掛けを使用すると考えて肘を動かす。前腕は特に意識しない。
2) 肘掛け台上をできる限り肘、前腕を動かす。大きな動作。

解析結果より肩関節中心はおよそ肩峰より60 mm下、60 mm体幹中心側に存在することが推定でき、肘掛けを使用するような小さな動きでも肩関節中心の推定が可能であることが確認できた。

図3に推定された肩関節中心位置の略図を示す。

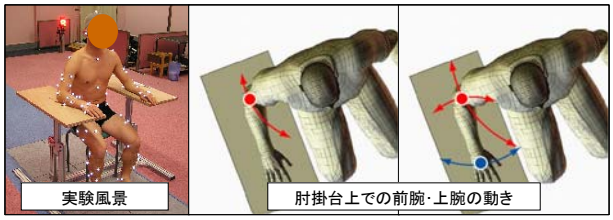


図2 実験風景

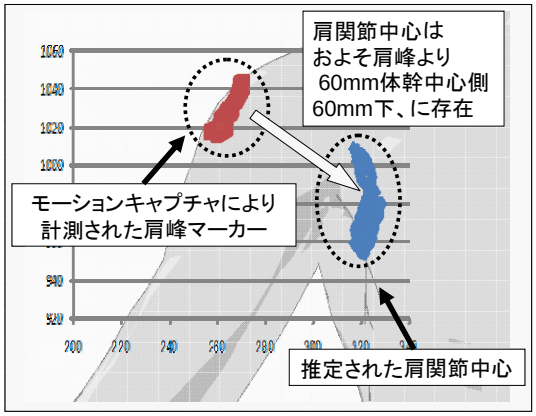


図3 推定された肩関節中心位置

2.2 肘掛けを用いた動作の肩関節推定実験

前項で肘掛けを使用するような小さな動きでも肩関節の推定が可能であることが確認された。そこで、被験者を増やし肘掛けを使用した場合の肩関節中心を推定する実験を行った。

被験者の身長は約1600～1850 mm（成人男性の身長の4~99 %ile）で、日本人集団の体形のばらつきをほぼ反映している。

実験椅子の高さは430 mmとし肘掛台の高さは座面最上面からの250、280、310、340、370、400 mmの6段階とした。

被験者は右上半身の身体特徴点（肩部、胸部、腕部）にモーションキャプチャ用反射マーカーを貼り付け、「前腕は特に意識しないで肘掛けを使用するイメージで上腕および肘を動かす」動作を行い、この動作をモーションキャプチャシステムで動作計測を行ったのち「機能的関節中心推定プログラム」にて肩関節中心の解析を行った。実験風景と推定された関節中心を図4に示す。

表2 被験者の人体寸法（抜粋）

被験者	年齢	身長[mm]	体重[kg]
01	37	1647	69
02	36	1800	98
03	40	1730	68
04	52	1720	67
05	34	1788	76
06	36	1732	71
07	30	1685	67
08	34	1855	76
09	67	1612	54
10	32	1768	58
11	35	1774	73

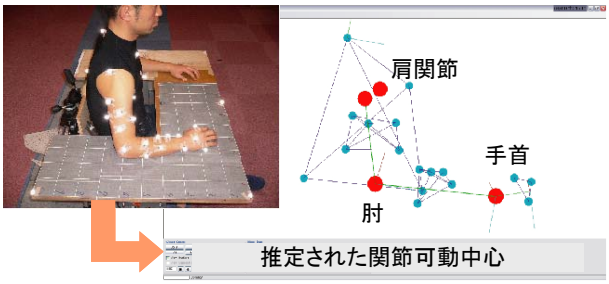


図4 実験風景と推定された関節可動中心

3. 結果と考察

肘掛けを用いた動作の肩関節推定実験結果より上肢構造のモデル化と最適な肘掛位置の導出方法について考察する。

前述のとおり外見から肩関節の正確な位置、動きを同定することは困難であるが、モーションキャプチャにより得られた身体特徴点座標と、推定された肩関節中心座標の関係を求めることにより、

標準的な肩関節位置を導出できると考えられる。そこで、被験者それぞれの胸郭上縁点を原点とし胸郭上縁点-肩峰間距離を基に肩関節中心座標の標準化を行った。

図 5 に肩峰軌跡と推定された肩関節中心の実測値を、図 6 に胸骨上縁を基準とし空間座標系にて標準化した結果を示す。

図 5 より身体サイズの違いから肩峰位置（実測値)、肩関節中心位置にばらつきがあるが、図 6 より被験者ごとに標準化することにより、肩関節中心位置のばらつきが排除され、胸郭、肩峰などの身体特徴点と肩関節中心の偏差、平均値から座標位置が推定できると考えられる。

また、本実験では実験動作を「肘掛を無理なく使用する動作」として統制をしていることから「機能的関節中心推定プログラム」により求められた上腕の可動範囲と上腕長から肘掛を無理なく使用する肘の軌跡が算出できる。このような上肢モデルによれば、節長などの人体寸法を与えることで、

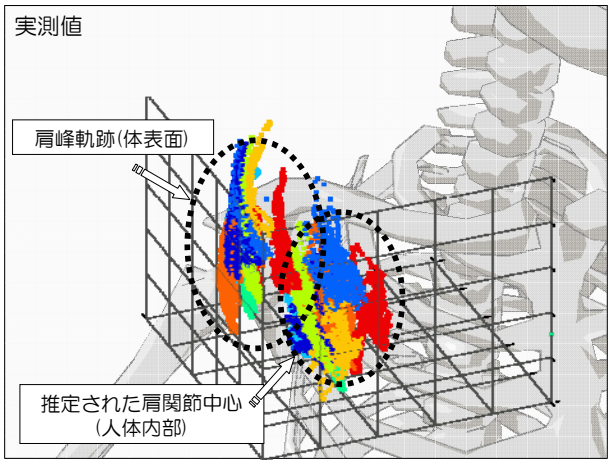


図 5 肩峰と肩関節位置の実測値

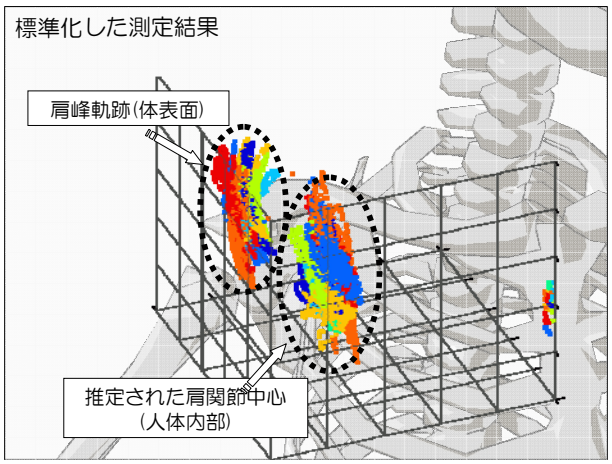


図 6 肩峰と肩関節位置の標準化

日本人全体や若年層、高齢者など想定されるユーザー層の体形ごとの肘の軌跡を算出できる。日本人の人体寸法データベースを用いることで、多様なユーザー層に適合する肘掛位置を導出することが可能と思われる。

従来のモデル化手法を用いた肘掛け位置の推定結果とモーションキャプチャによる実測の比較を行った。従来の肘掛位置推定手法では上面から見た使用可能範囲が狭い。図 7 に示す。

また、肘掛高さが 250、280 mm ではより人体側に、370、400 mm では人体からより離れて設計されてしまうことが確認された。図 8 に示す。

これより、「肩関節の推定手法」を用いた肘掛位置推定手法の改善は有用であると考えられる。

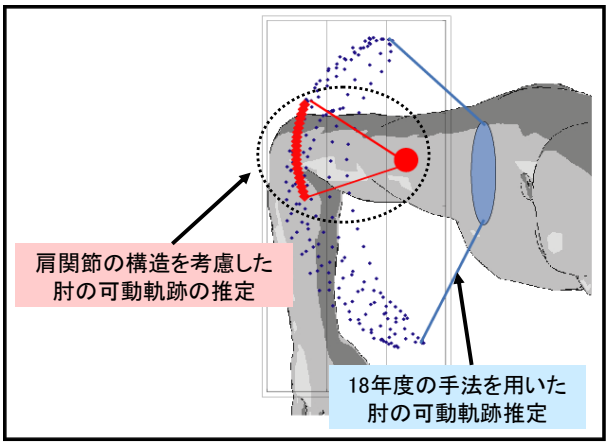


図 7 従来手法との比較（上面から）

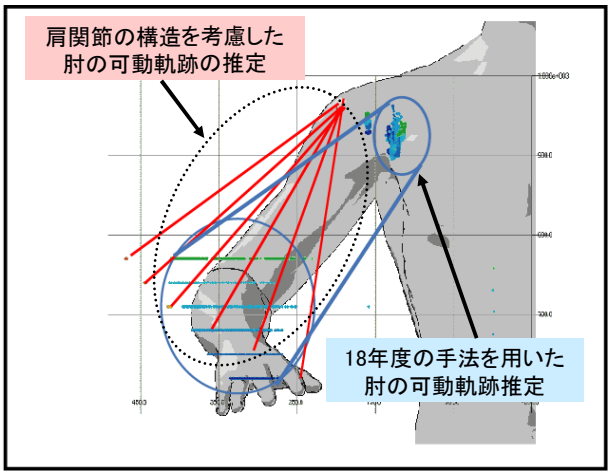


図8 従来手法との比較（前面から）

4. まとめ

人体構造を考慮した木製椅子の肘掛の最適位置を導出するため、モーションキャプチャシステムを用いて、被験者10名の着座して肘掛けを使用する動作を計測し、「機能的肩関節中心の推定手法」により肘掛けを使用する場合の機能的肩関節中心を同定して、上肢のリンク構造モデルを構築した。このときの上肢の動きおよび可動域を解析・同定し、最適な肘掛位置について考察した。

肩関節中心位置の個人差を人体寸法で標準化すれば、胸郭、肩峰などの身体特徴点のみから肘掛けを使用する場合の肩関節中心が推定できることがわかった。上肢構造モデルに上腕の可動範囲と上腕長を与えることで肘の軌跡が算出できた。この上肢構造モデルを用いれば、日本人の人体寸法データベースに基づいて多様なユーザの肘の軌跡を推定し、それらに適合する肘掛位置を導出することが期待できる。

今後は人体構造を考慮した肘掛けを作業椅子や休息用椅子など様々な用途の椅子に設置し、従来品との比較評価を行うことで、その妥当性や有効性を検証し、県内木製家具メーカとともに商品化について検討を進める。

謝辞

この研究は産業技術総合研究所平成19年度地域産業活性化支援事業により実施した。

本研究にたいしてご指導・ご協力いただきました産業技術総合研究所デジタルヒューマン研究センター青木慶様、持丸正明様、他スタッフの皆様に感謝いたします。

文献

1) Aoki, K. *et al.*: Functional shoulder joint modeling for accurate reach envelopes based on kinematic estimation of the rotation center, SAE 2005 Trans. J. Passenger Cars: Mech. Sys., 2950-2955, (2006).
2) 成瀬哲哉ら：岐阜県生活技術研究所研究報告, No.9，pp.6-11，2007.
3) 藤巻吾朗ら：岐阜県生活技術研究所研究報告, No.9，pp.20-29，2007.
4) 藤巻吾朗ら：岐阜県生活技術研究所研究報告, No.8，pp.12-16，2006.
5) 河内まき子, 持丸正明：2005　AIST人体寸法データベース, 産業技術総合研究所H16PRO　287.

資源循環利用を考慮した木質部材に関する研究（第1報）
木材・プラスチック混合物の混練特性

今西 祐志*

Study on Wood Material for Resource Recycling (I)
Kneading Behavior of Wood/Plastic Mixture

Hiroshi IMANISHI*

木材・プラスチック複合材を成形する際の適当な条件を探索するため、ブナ木粉とポリプロピレンを混合した材料の混練特性について検討した。木粉粒子径、木粉率、回転速度、温度を様々に変えて、時間の経過に伴う混練トルクおよび材料温度の変化を調べ、混練された材料の様子を観察した。その結果、材料の効率的な混練と熱安定性の兼ね合いで適当な回転速度が存在することが示唆され、また、材料の内部摩擦やせん断発熱、木材の熱分解が材料の温度調整に及ぼす影響を把握できた。

1. 諸言

地球温暖化をはじめとする環境問題や化石燃料などの資源の枯渇に対して、各方面で様々な対応策が検討されている中、バイオマス資源に寄せられる期待は非常に大きい。バイオマスはカーボンニュートラルであり、持続的に再生産可能な資源であるから、バイオマスの利用と再生産を健全な形で行うことは、「持続可能な社会」の実現を考える上で極めて重要な課題である。

近年、バイオマスを燃料として使用し発電や熱利用する取り組みが盛んに行われている[1、2)]。豊富な木質バイオマスを有する我が国では、バイオマスのエネルギー利用は資源問題への対応策となるだけでなく、森林の活性化による地域経済の振興などが期待できる。しかしながら、再生産の速度を上回る勢いで利用が進み、バイオマスが燃やされれば、やはりCO_2の排出量は増大して環境問題はさらに深刻なものとなる。

したがって、バイオマスを炭素の貯蔵庫と考えてマテリアル利用を推し進める取り組みは、意義が大きいといえる[3)]。これまで、様々な形で存在するバイオマスから作られる製品は接着剤で固められたボード類が主であったが、近年、粉砕したバイオマスをプラスチックと混ぜ合わせて自由な形状に成形した材料が開発された[4)]。この材料は、今日の社会の要求を満たす好ましい特性をいくつか備えている。例えば、廃木材や廃プラスチックが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である。持続的社会の構築に向けて大きな寄与が期待できるが、耐候性や耐衝撃性など、いくつかの改善されるべき点がある。

当研究所では、木材・プラスチック複合材の普及推進および用途拡大を図るため、その物性を向上させる研究に着手した[5)]。複合材物性を左右する因子は原料や前処理方法、混練や成形の条件など数多くあるが、本報では、基礎的検討として木材とプラスチックの混練性について調べた結果を報告する。

2. 実験方法

2.1 供試材

木粉はブナを機械的に粉砕したもので、分級により3種類（木粉A、B、C）を用意した。粒子径はそれぞれ、0.25～0.50 mm（木粉A）、0.50～1.00 mm（木粉B）、1.00～2.00 mm（木粉C）である。プラスチックはポリプロピレン(PP)のプレコンシューマ材(製造工程における廃棄物の流れから取り出さ

* 試験研究部（生活支援機能研究室）

れた材料）で、粒子径は約3 mm、メルトインデックスは12～20、比重は0.90～0.92である。木粉とPPの混合比率（木粉：PP）は7：3、8：2、9：1とした。

2.2 混練性試験

木材・プラスチック混合物の混練は、高せん断タイプのバッチ式ローラミキサ（（株）東洋精機製作所製、ラボプラストミル、R60H）を用いて行った。これは、回転数の異なる2本のローラ（回転数比3：2）が異方向回転して材料を混練するもので、チャンバ容量は60 ccである。ミキサを所定の温度まで昇温し、チャンバ容量の7割の木材・プラスチック混合物を投入後、すぐに混練を開始し、トルク、材料温度の変動を調べた。混練時間は10 min、回転速度は25、50、100 rpm、設定温度は180、200、220、240℃とした。

3. 結果と考察

3.1 混練トルク曲線および材料温度変化

図1に、混練試験の結果の一例を示す。木粉・プラスチック混合物は木粉Bを80%含んだもので、設定温度は200℃、回転速度は50 rpmである。混練トルクは試験開始直後に急激に低下し、約2分後にはトルク低下が緩やかになる。この時点で、マクロ的な分配の進行により、おおむね混合物が一体化していると思われる。その後はトルクが漸減していくのみで、目立った変化はなかった。材料温度は、PPの溶融のため試験開始後にいったん低下した後、設定温度に近づいていく。材料温度の上昇は、試験機ヒータによる加温と混合物の内部摩擦、せん断発熱によるが、多くの場合、材料温度は設定温度を下回った。これは、試験開始直後から生じていた木粉の熱分解による温度低下が原因と考えられる。実際、試験実施時には木粉の熱分解ガスが発生しており、設定温度が高いほどその現象は顕著であった。10分の混練を終えた混合物は、木粉の熱変性により濃色化しており、設定温度が高いほど、回転速度が大きいほど熱変性の進行がうかがえた。実際の成形においては、木粉とPPを十分に分散させて均質化させる必要があるが、木粉の熱変性の進行をできるだけ小さく抑えることも必要と考えられるから、本報では、おおむね混合物が一体化したと思われる混練時間2分に着目して考察する。

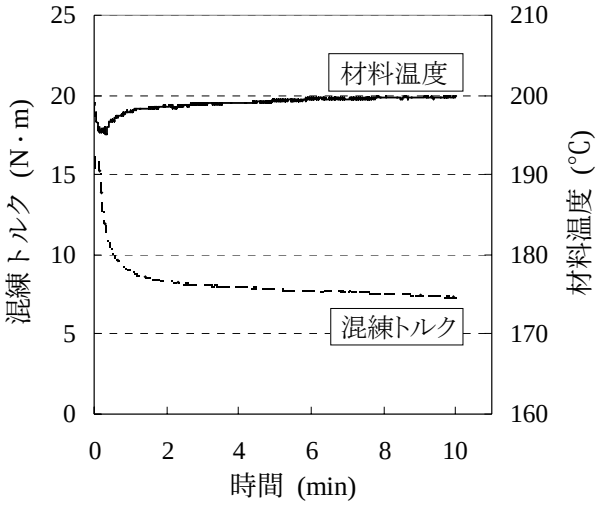


図1 混練トルクおよび材料温度の変化
注: 木粉粒子径: 0.50～1.00 mm、
木粉率: 80%、設定温度: 200℃、
回転速度: 50 rpm

3.2 材料温度と混練トルクの関係

図2に、材料温度と混練トルクの関係を示す。ここでは、木粉A、B、Cについて、木粉率が80%、回転速度が50 rpmの場合を示した。全体的な傾向として、材料温度が高いほど混練トルクは小さくなる。とくに、220℃まで温度範囲でのトルク低下が著しい。木粉粒子径の影響は顕著ではないが、粒子径が小さいほどトルクが大きい傾向が看取される。これは、粒子径が小さいほど粒子間の相互作用が大きかったものと推察される。

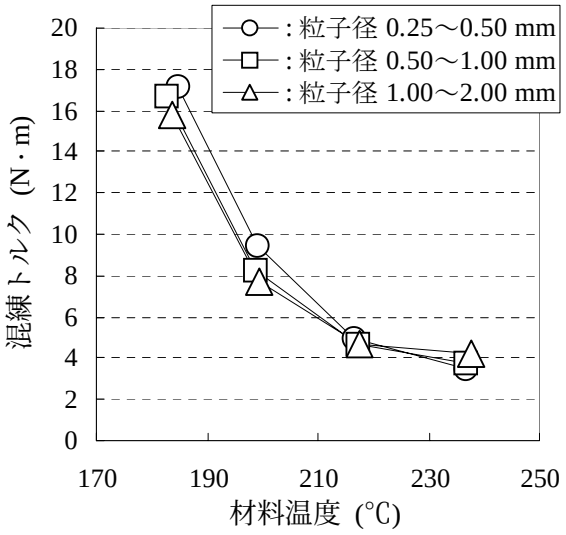


図2 材料温度と混練トルクの関係
（木粉粒子径の影響）
注: 木粉率: 80%、回転速度: 50 rpm

図3は、図2と同様、材料温度と混練トルクの関係であるが、ここでは木粉率70、80、90%について、木粉B、回転速度が50 rpmの場合について示した。材料温度が高いほど混練トルクは小さくなり、220℃までの温度でトルクは大きく低下する。木粉率の影響は明らかで、木粉率が大きいほどトルクは小さい。この傾向はとくに温度が180℃の場合に顕著である。これは、木粉率が高い場合にはPPが木粉粒子間に介在するのに十分な量でなく、粒子間の相互作用が小さかったためと考えられる。材料温度が高くなると木粉率の影響は小さくなるが、これは高温になるにつれてPPの粘度が低下したためと思われる。

図4は、材料温度と混練トルクの関係を、回転速度25、50、100 rpm、木粉B、木粉率80%の場合について示したものである。全体的に、材料温度が高くなるにつれてトルクが低下する傾向にあるが、回転速度の影響は非常に大きく、回転速度が小さいほどトルクは小さい。例えば材料温度200℃についてみると、回転速度25、100 rpmのそれぞれの場合で、トルクは2倍以上の差があることが分かる。また、混練後の様子を見ると、回転速度100 rpmの場合にはローラやチャンバ内壁にPPがはりついていたのに対し、25 rpmの場合にはその現象が軽微であった。これは、回転速度によって分散効率が異なることを示すものである。つまり、低速であれば小さいトルク（少ない消費エネルギー）で効率

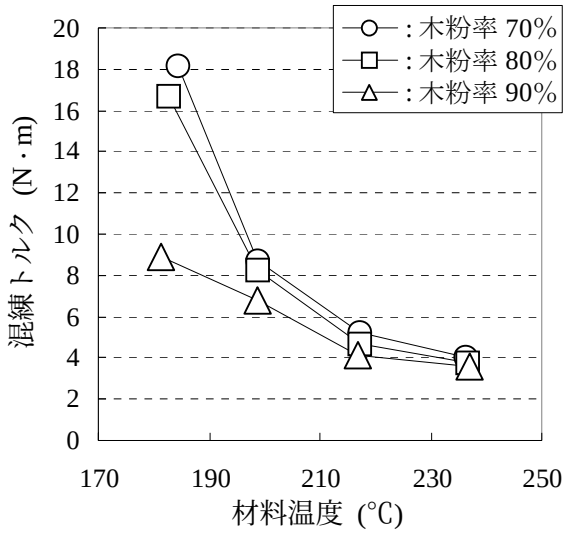


図3 材料温度と混練トルクの関係
（木粉率の影響）
注: 木粉粒子径: 0.50～1.00 mm、
回転速度: 50 rpm

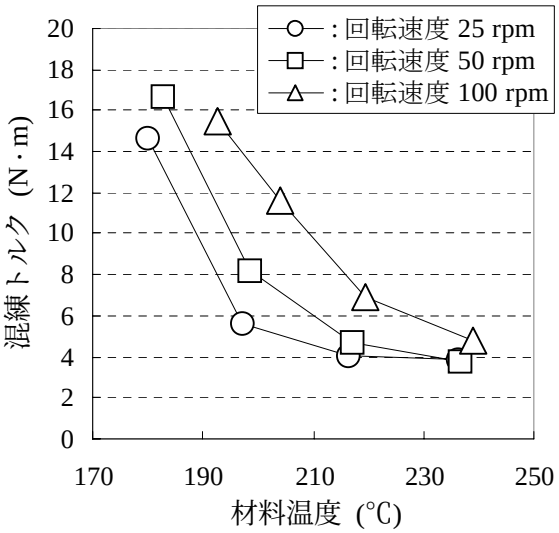


図 4 材料温度と混練トルクの関係
（回転速度の影響）
注: 木粉粒子径: 0.50～1.00 mm、
木粉率: 80%

よく混練できると考えられるのであるが、低速過ぎる場合には混練の進行が遅く、木粉の熱分解が問題となるはずである。混練の最適条件を見出すためにはさらなる検討が必要である。

3.3 材料温度と設定温度の差

図5は、材料温度と設定温度の差を示したものである。ここでは、木粉A、B、C、木粉率80%、回転速度50 rpmの場合を示した。いずれの木粉でも、設定温度が180℃の場合には材料温度はそれを上回ったが、設定温度が高いほど材料温度はそれより低くなった。前述したように、材料温度は試験機ヒータによる加温によって設定温度に保持され、さらに混合物の内部摩擦、せん断発熱によって上昇する。しかし、木粉は200℃あたりの温度以上では熱分解するため、それによって材料温度が設定温度を下回る結果になったと考えられる。木粉粒子径の影響は顕著でなく、傾向は明瞭に現れていない。

図6は、図5と同様、材料温度と設定温度の差を示したものであるが、ここでは木粉率70、80、90%について、木粉B、回転速度が50 rpmの場合について示した。全体的な傾向は先の図5と同じで、設定温度が180℃の場合のみ材料温度が設定温度を上回り、200℃以上の設定温度では木粉の熱分解によると考えられる温度低下によって設定温度に達しない現象が見られた。木粉率の影響は、180℃の場合のみ明瞭に現れており、木粉率が小さいほど材料温度は設定温度よりも高くなった。

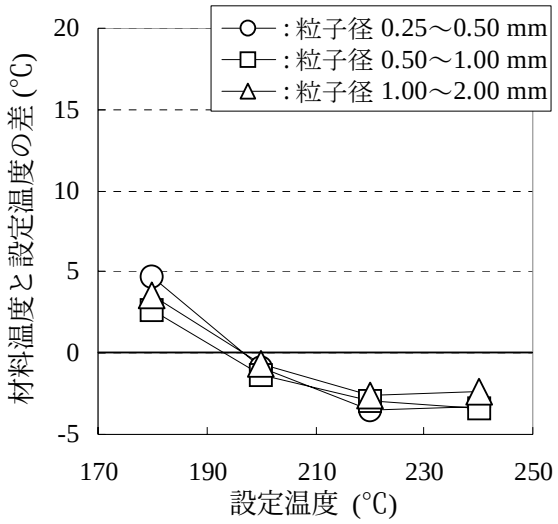


図5 材料温度と設定温度の差
（木粉粒子径の影響）
注: 木粉率: 80%、回転速度: 50 rpm

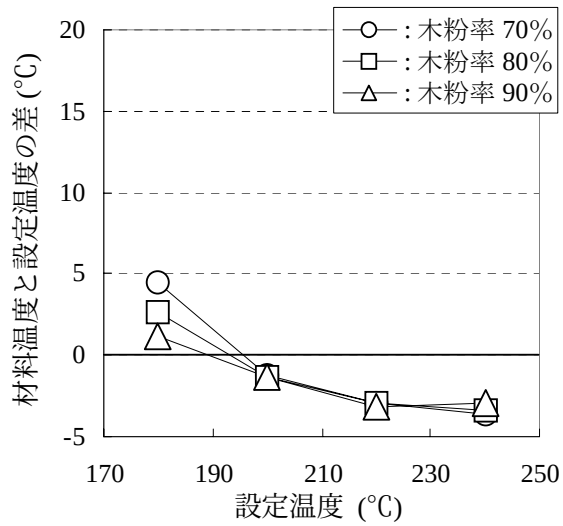


図6 材料温度と設定温度の差
（木粉率の影響）
注: 木粉粒子径: 0.50～1.00 mm、
回転速度: 50 rpm

図7は、材料温度と設定温度の差を、回転速度25、50、100 rpm、木粉B、木粉率80%の場合について示したものである。全体的な傾向は先の図5、図6と類似しているが、回転速度の影響は非常に顕著である。とくに設定温度が180℃の場合には、回転速度25 rpmの場合と100 rpmの場合とで約13℃の差がある。このように、回転速度は混合物の内部摩擦、せん断発熱と直接的に関係して材料温度に大きな影響を及ぼすので、混練時の温度コントロールの際には注意が必要である。

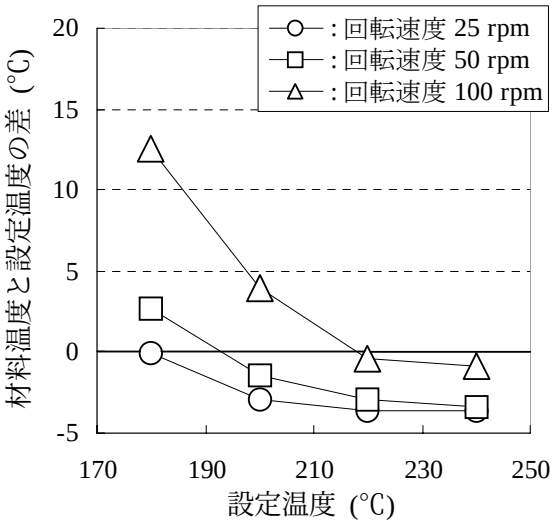


図7 材料温度と設定温度の差
（木粉率の影響）
注: 木粉粒子径: 0.50～1.00 mm、
木粉率: 80%

4. まとめ

木材・プラスチック複合材の物性は、原料特性や前処理方法、混練や成形の条件など、数多くの因子によって左右される。本報では、基礎的検討として木材とプラスチックの混練性に着目し、ブナ木粉とポリプロピレンの混合材料について、木粉粒子径や木粉率、温度、回転速度の条件が混練トルク、材料温度に及ぼす影響について調べた。得られた知見は次のようにまとめられる。

1) 材料温度が高いほど、混練トルクは低下する傾向にあり、木粉粒子が大きいほど、木粉率が高いほど、回転速度が小さいほどトルクは小さかった。今回の実験条件では、回転速度が小さい方が効率的に混練された様子がうかがえたが、木粉の熱分解を抑えるためにはある程度の回転速度は要求されると考えられるから、最適な条件を見出すためさらなる検討が必要である。
2) 材料温度は、設定温度が180℃の場合には設定温度を上回り、設定温度が200℃以上の場合にはほとんど設定温度を下回った。これは、混練による材料の内部摩擦、せん断発熱によって温度上昇が起きた一方で、200℃付近以上の温度では木材の熱分解によって温度低下が生じたことを示すものである。回転速度は材料温度にとくに大きな影響を及ぼしたことから、混練時の温度コントロールにおいては最も注意すべきと考えられる。

謝辞

本研究は、（株）ケイ・エム・エヌコーポレーション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) 財団法人 エネルギー総合工学研究所：バイオマス発電，2003.
2) 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構：NEDO海外レポート, No.1017, pp.1-53, 2008.
3) 外崎真理雄, 恒次祐子：木材工業, 63(2), pp.52-57, 2008.
4) 岡本忠：木材学会誌，49，pp.401-407，2003.
5) 今西祐志ら：岐阜県生活技術研究所研究報告, No. 9，pp.62-66，2007.

高齢者に配慮した生活用具の開発（第1報）

木村 公久[*1]、安藤 敏弘[*2]、長谷川 良一[*3]

Development of Life Tools that Consider the Aged (I)

Kimihisa KIMURA [*1], Toshihiro ANDOU [*2] and Ryoichi HASEGAWA[*3]

高齢者施設における利用者ならびに介護者のﾆｰｽﾞや現状の問題点などを把握するため、県内の施設にて調査を行った。施設では、居住空間における使いやすさや健康増進を目的とした用品を、身近な材料で自作して対応しているなどの工夫が見られた。また、調査時に施設職員より利用者の座位姿勢に関する改善要望を受けたことから､ｸｯｼｮﾝ材の違いによる体圧分布の比較やﾃｰﾌﾞﾙおよび椅子の高さについて検討を行った。これらの調査や改善活動から、小柄な利用者が一般的なｻｲｽﾞの椅子に着座した際、足が床に着いていないことから臀部や大腿部を圧迫しているｹｰｽが見られた。既存の家具で簡易的な改善を行う方法として、足載せ台を設置するなど足元の高さを調整することが有効であると考える。

1. 緒言

日本の総人口に占める高齢者人口（満65歳以上）の割合は、世界的に見ても高い水準である21.4%（平成19年9月1日現在）に到達した[1)]。岐阜県の高齢者人口の割合は22.3%（平成19年10月1日現在）で、全国平均よりも高い割合であり、今後さらに高齢化が進んでいく傾向にある[2)]。高齢者人口の割合が増加していくなか、介護者数の減少や高齢化の問題も抱え、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である。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ｽﾞに添った用具の開発および実用化が求められている。

2. 施設調査

高齢者施設における生活環境、利用者の生活習慣、利用者ならびに介護者の生活用具へのﾆｰｽﾞおよび現状の問題点を把握するため、県内の特別養護老人ホームにて調査を行った。調査結果について以下に記述する。

2.1 施設における問題点および工夫点

・足載せ台

施設で使用されていたﾃｰﾌﾞﾙや椅子などの家具は、建設時に一般的なｻｲｽﾞの物を備品としてまとめて導入されたため、特に小柄な利用者が椅子に座った時、座面が高すぎて足が床に着かないという問題点があった。利用者の着座姿勢を安定させるため、市販されているｶﾞｰﾃﾞﾆﾝｸﾞ用ﾏｯﾄを用い、体型に合わせてﾏｯﾄを2枚貼り合わせた物を足載せ台として使用されていた。また、他の施設では、紙箱を簡易的な足載せ台として使用しており、その変形やずれを防ぐために箱の中に重しを入れ､汚れを防ぐためにﾋﾞﾆｰﾙ袋で包んで使用するなどの工夫が見られた。さらに、浴槽台を足載せ台として使っているｹｰｽも見られた。

写真1 手作り足載せ台と杖置き

[*1] 試験研究部（生活支援機能研究室）
[*2] 機械材料研究所
[*3] 試験研究部（木質材料研究室）

・杖置き

ﾃﾞｲｻｰﾋﾞｽｾﾝﾀｰでは、杖を使用している利用者が比較的多く、ﾃｰﾌﾞﾙ使用時に杖を身近な所へ置いておきたいが、収納する場所がなかなか無いという問題点があった。そこで利用者の手の届く範囲内に杖を置けるように、ﾍﾟｯﾄﾎﾞﾄﾙや紙筒をｶｯﾄした物をﾃｰﾌﾞﾙの脚に取り付けて使用していた。

・ﾚｸﾚｰｼｮﾝ用具

ﾃﾞｲｻｰﾋﾞｽｾﾝﾀｰでは、利用者に対して健康維持や増進を目的とした体操やﾚｸﾚｰｼｮﾝが行われており、そこでも自作品の使用が見られた。体操では、新聞紙を丸めて作った棒を使って身体を伸ばしたりねじらせたり、全身を大きく動かす運動が行われていた。棒の代わりに紐を使う場合もある。またﾚｸﾚｰｼｮﾝでは、主に玉を使った遊びが行われており、目的によってﾃﾆｽﾎﾞｰﾙ、木、ｽﾎﾟﾝｼﾞやお手玉などと使い分け、その素材感や動きを遊びに活かしていた。その他の材料として空き缶やﾍﾟｯﾄﾎﾞﾄﾙの使用が見られたが、その中に入れる物や量に変化をつけることで当たったときの音や跳ね返り具合を変え、利用者の興味をより引くような工夫がされていた。これらの自作品は、欲しい物が商品として販売されていない場合もあるが、あっても予算的に購入できないなどの理由から、ｶﾀﾛｸﾞを見て作っているとの意見を得た。またこのようなﾚｸﾚｰｼｮﾝ用品は、利用者の動作に対する反応が分かりやすいことが重要であるという意見も得た。

写真2　手作りﾚｸﾚｰｼｮﾝ用具

3. 改善活動

調査を行った施設の職員より、利用者の使用しているｸｯｼｮﾝ材や座位姿勢に関する改善を図りたいとの要望があった。そこで、病気や障がいによって姿勢保持や体位変換が困難である利用者に対し、施設の看護師とともに座位姿勢に関する改善活動を行ったので以下に記述する。

3.1 ｸｯｼｮﾝ材の比較検討

・要望の内容

日常生活では椅子、ｿﾌｧｰおよび車椅子など、利用者にとって好ましいと思われるものを使用されている。しかし、体位変換が難しいなどの理由から、それらの椅子に長時間同じ姿勢で座っている利用者がおり、褥そうなどの病的な心配があった。職員の要望は、これら利用者への負担程度を把握し、問題があれば改善を図りたいとのことであった。そこで体圧分布測定器（XSENSOR：XSENSOR Technology Corporation、Canada）を用い、利用者の体圧分布状況を確認しながら、ｸｯｼｮﾝ材の比較検討やｻﾎﾟｰﾄ材の当て方などの検討を行うこととなった。

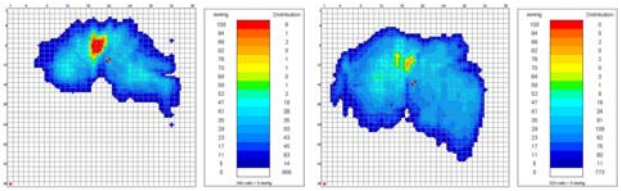
・Aさんの現状

Aさんは下肢に拘縮があり、特に左足が内側に曲がった体型であった。自力による移動および体位変換は難しく、車椅子に長時間座っているとお尻が痛いと訴えられるとのことであった。現状は、市販の車椅子にｳﾚﾀﾝｸｯｼｮﾝを一枚敷いて座っている状態であった。体圧分布測定結果では、大腿部の圧力は出ておらず、尾骨付近に高い圧力が出ているﾃﾞｰﾀが得られた（ﾃﾞｰﾀ1：左）。

・改善内容

Aさんの場合は車椅子のﾌｯﾄﾚｽﾄ位置が高く、大腿部が座面から浮いた状態であったために、臀部後方へ圧力が集中していると考えられた。そこで、ﾌｯﾄﾚｽﾄの位置を下げることで大腿部へ圧力を分散させ、全体的な接触面積の増加を図った。また尾骨付近に出ていた高い圧力は、長時間座っているときに痛いと感じる1つの要因と考えられたため、その部分の圧力低減も同時に検討することとした。Aさんが使用していたｳﾚﾀﾝｸｯｼｮﾝには劣化が見られ、

写真3 ｸｯｼｮﾝ材の比較検討風景（現状）



ﾃﾞｰﾀ1　現状（左）とｴｱｰｸｯｼｮﾝ使用時における体圧分布図（右）

ｸｯｼｮﾝ性はほとんど無いと思われた。そこで、それに代わるｸｯｼｮﾝ材として、施設で保有するｼﾞｪﾙｸｯｼｮﾝやｴｱｰｸｯｼｮﾝなどを用いて体圧分布の比較検討を行った。体圧分布で結果を判断したところ、ﾌｯﾄﾚｽﾄの位置はまだ若干高いと思われるが、現状と比較するとｴｱｰｸｯｼｮﾝ使用時において一番良好なﾃﾞｰﾀが得られた（ﾃﾞｰﾀ1：右）。

3.2 ﾃｰﾌﾞﾙと椅子の高さ調整

・要望内容

一般的なｻｲｽﾞの家具を使用しているため、体型によってはﾃｰﾌﾞﾙや椅子の高さが適正でないと思われる利用者がいる。このことにより、窮屈な姿勢または動作で食事を摂取している利用者がいる。職員の要望は、健康維持のためにも姿勢の改善を図りたいとのことであった。

・Bさんの現状

ﾕﾆｯﾄでは、椅子に浅く腰掛けた状態でもかかとが浮いていたり、両足が完全に床から浮いていたりする利用者が見られた（写真4）。共有ｽﾍﾟｰｽでは、主に座面高さ440 mmの椅子と天板高さ700 mmのﾃｰﾌﾞﾙを使用しており、座布団などのｸｯｼｮﾝ材を敷くことにより、さらに座面が高くなっているｹｰｽも多く見られた。

Bさんの場合は、椅子に浅く腰掛けたとき、両足のかかとが少し浮く姿勢であった。そのときのBさんの背中は、椅子の背もたれにまったく着いていない状態であった。体圧分布を測定した結果、臀部および大腿部に高い圧力が出ているﾃﾞｰﾀが得られた（写真5）。また椅子に深く腰掛けたときは、完全に両足が浮く姿勢であった。体圧分布測定の結果では、背もたれ側へ圧力が分散されたことにより、臀部付近の圧力の低減が見られた。しかし、両足が浮いていることにより、座面と大腿部の接触部分に高い圧力が出ているﾃﾞｰﾀが得られた（写真6）。

・改善内容

椅子の高さが適正でない場合、利用者の体型に合った座面高さの椅子に換えることで、足を床に着かせて安定させる方法が考えられる。しかしこの場合は、椅子を低いものに交換してもﾃｰﾌﾞﾙの高さが変わらなければ、ﾃｰﾌﾞﾙと椅子の間隔が開いてしまい、さらに食事姿勢や動作に悪影響を及ぼす恐れがある。椅子と同時にﾃｰﾌﾞﾙの交換が望まれるが、予算的にも容易なことではない。

写真4 着座時の現状

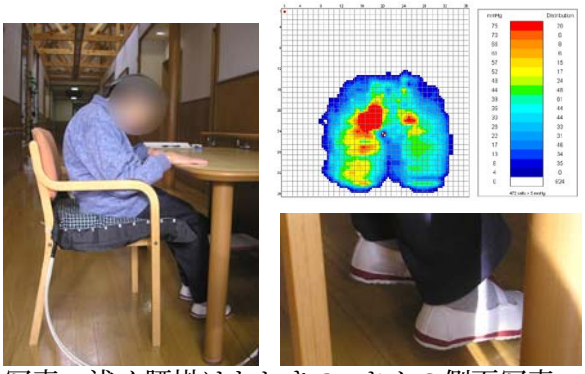


写真5 浅く腰掛けたときのBさんの側面写真
足元拡大写真および体圧分布図

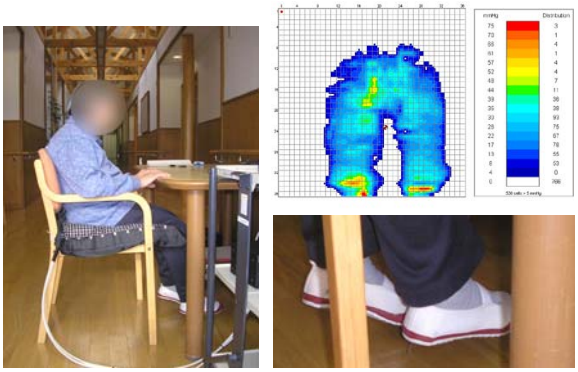


写真6 深く腰掛けたときのBさんの側面写真、
足元拡大写真および体圧分布図

写真7 足載せ台の高さ、テーブルと
椅子の高さ検討風景

そこで、既存の家具で簡易的な改善を行う方法として、足載せ台を設置することが有効であると考え、これらの方を対象として足載せ台の検討を行うこととした。必要な足載せ台の高さを求めるため、発泡ﾎﾟﾘｽﾁﾚﾝ板や高さ調整が可能である椅子とﾃｰﾌﾞﾙを用いて、簡易的な高さ比較の実験を行っ

た。また同時に体圧分布測定を行い、圧力分散状態と座位姿勢から適正な高さを選定した。Bさんの場合は、座布団などのｸｯｼｮﾝ材を使用しないとき、既存の椅子に対して足載せ台の高さは60 mmくらいが適正であると判断した。

4. まとめ

高齢者施設における利用者ならびに介護者のﾆｰｽﾞや問題点を把握するため、県内の特別養護老人ホームにて調査を行った。また、調査を行った施設職員からの要望により、利用者の座位姿勢に関する改善活動を行った。これらのまとめについて以下に記述する。

4.1 施設調査

施設では、利用者の使いやすさへの配慮や健康増進を目的として、身近な材料を用いた自作用品の使用が見られた。使いやすさへの配慮としては、小柄な方が座面の高い椅子に座ったときに安定して座れるような足載せ台、またﾃｰﾌﾞﾙ使用時に身近な所へ杖を置けるような杖置きを設置するなどの工夫が見られた。

健康増進としては、利用者が楽しく活動できるように内容や操作性を考慮し、既製品の組み合わせや自作したものを使用したﾚｸﾚｰｼｮﾝが行われていた。このようなﾚｸﾚｰｼｮﾝ用品には、利用者の動作および操作に対する反応が分かりやすいことが重要であるという意見を得た。

4.2 改善活動

この活動では、合計 13 名の利用者に対して、ｸｯｼｮﾝ材やﾃｰﾌﾞﾙと椅子の高さ調整に関する改善を行った。現状では、小柄な方が一般的なｻｲｽﾞの椅子を使用するとき、足が床に着いていないことから、圧力的に臀部および大腿部を圧迫しているｹｰｽが見られた。またﾃｰﾌﾞﾙと椅子の高さが合っておらず、窮屈な姿勢で食事を取っている利用者も見られた。

圧力の低減および姿勢の改善を図るうえでも、利用者の体型に合った高さのﾃｰﾌﾞﾙと椅子を使用することが重要であると思われる。しかし、施設職員も椅子の高さが合っていないと感じていたが、家具を買い換えることは容易でないことから、既存の家具で対応しなければならないとの意見を得た。そこで既存の家具で簡易的に改善を行う方法として、足載せ台を設置することが有効であると考えた。利用者の体型に対して高めの足載せ台を使用していたｹｰｽがあったが、大腿部が座面から浮いてしまい臀部に圧力が集中している体圧分布データが得られた。足載せ台を設置するにあたっても、利用者の体型に合った高さの台を使用することが望まれる。

そこで簡易的な実験により、利用者に対して必要な足載せ台の高さを求めた。実験から B さんの場合は、必要な足載せ台の高さは 60 mm くらいであり、調整後に B さんからは、「足が着くようになって楽になった」との意見を得られた。また、ﾃｰﾌﾞﾙと椅子の高さ調整を行った他の利用者は、今まで食事介助を受けていたが、ﾃｰﾌﾞﾙ上での動作範囲が広がったことにより、自ら摂取するようになったとの報告を受けた。

このように、利用者の体型に合った高さのﾃｰﾌﾞﾙや椅子を使用することが望まれるが、家具の買い換えは容易でないことから、足載せ台などの補助具を使用することは簡易的な改善として有効であると考える。

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。

文献

1) 総務省統計局：人口推計月報 年齢（5歳階級），男女別推計人口，21 Feb，2008.
2) 岐阜県統計課：平成19年岐阜県人口動態統計調査結果，28 Dec，2007.

木製家具における伝統技術の解明（第1報）
曲げ木工程の指標化

石原 智佳[*1]、長谷川 良一[*2]

Study on Traditional Craft for Wooden Furniture (I)
Standardization of the Bent Wood - Making Process

Chika ISHIHARA[*1], Ryoichi HASEGAWA[*2]

家具製造工場において問題となっている高周波乾燥による材内部の焦げを検討するため、乾燥過程における材の温度測定を行った。また、最適な乾燥条件を指標化することを目的として、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) 現状の高周波乾燥法では、温度上昇が材間でばらつき、焦げと乾燥不足が懸念された。
2) 高周波乾燥と乾燥室保持の複合あるいは高周波印加と停止の複合により焦げは低減されるが、最適な含水率まで乾燥させる設定条件を見出すことが必要である。
3) 良好な仕上がり乾燥状態と設定乾燥時間に見合う高周波出力が計算により求められた。

1. 緒言

飛騨の家具部材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。この曲げ木技術は「匠の技」とも呼ばれ、職人の経験と勘に深く基づいている。したがって、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。今後もこの優れた地域資源を活用し、さらなる産業の活性化を図るために、また、不良率を低減できる曲げ木工程の条件を見出し、これを基に、経験によらずとも誰もが加工を行えるための技術開発が求められている。

そこで前報[1)]においてまず、現状の曲げ木工程を把握し、改善すべき課題について検討したところ、曲げ時の折れ・座屈、乾燥に伴う焦げ・割れ、曲げ変形の戻り等の問題が明らかになり、さらには、高周波乾燥後の含水率のばらつき、乾燥不足が懸念された。

本報では、課題点が多く挙げられた高周波乾燥工程に着目し、工程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を検討した。

[*1] 試験研究部（木質材料研究室）
[*2] 試験研究部（住環境研究室）

2. 曲げ木工程の温度測定

2.1 材料

家具製造工場での温度測定調査では、実際のイス脚用部材を用いた。樹種はナラ材（*Fagaceae Quercus* crispula *Blume*)で、形状は長さ820 mm、両端部直径25 mm、中央部直径40 mmの丸棒。なお、材の含水率は、試料と繊維方向に連続する部分から立方体を切り出し、これを温度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。

2.2 曲げ木の加工工程における温度測定

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。前報[1)]で、乾燥時の内部焦げや内部割れ、乾燥後の含水率のばらつきが明らかになった。そこで本報では、一連の工程における材内温度を、光ファイバー式温度計 Reflex^{TM}（Neoptix社製）を用いて測定した。なお、温度計センサー部の直径は3 mmであり、測定部分に3.5 mmの穴を開けた。また、曲げ治具の形状上、同時に10本の加工を行うため、材間での温度のばらつきの有無や程度も検討した。

【測定1：現状の工程1】丸棒を100℃の水蒸気に60分間当てる蒸煮処理ののち、熱い状態で金型にはめて曲げ、高周波加熱により50分間乾燥させる。

この際の発振周波数は13.56 MHzである。電流は材から出る蒸気やにおいをもとに乾燥状態を判断し、その都度0.3 A～0.7 Aの間で調整されている。その後、治具にはめたまま冷風を当てて約1時間かけて室温まで冷却させ、治具から外して工場内環境下で養生する。なお、今回の測定時の高周波発振装置の電流は、印加開始から2分間は0.7 Aに、15分まで0.45 Aに、その後は0.35 Aに調整されていた。

図1に同時に加工した材10本の温度測定結果を示す。材温は30分後には釜内温度とほぼ等しい100℃に達した。続いて材1番から順番に曲げていくが、最初の材ほど乾燥開始までに温度が低下してしまう。これにより、乾燥時の温度が材間で大きくばらつくことがわかった。また、3番材ではほとんど昇温が進まなかった。

図2に蒸煮前から各工程後の含水率変化を示す。蒸煮後の含水率のばらつきが大きく、この差が乾燥後の値にも残っているようにも思われる。しかしながら、家具部材としては含水率10～11％まで乾燥させる必要があり、温度が上昇した割には乾燥不足であった。また、10本中3本で、図3に示すような内部焦げ認められた。

【測定2：現状の工程2】測定1と同じ高周波発振条件で行った他のグループの材5本の乾燥過程における温度変化と、含水率変化を図4に示す。この場合も温度のばらつきが大きく、160℃にまで昇温する材があり、明らかな焦げが認められた。

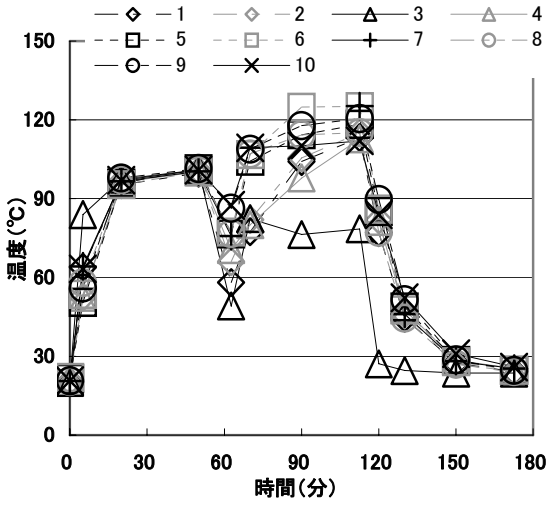


図1 蒸煮～高周波乾燥～冷却時の温度変化
（0～50分：蒸煮、63～113分：乾燥、以後：冷却）

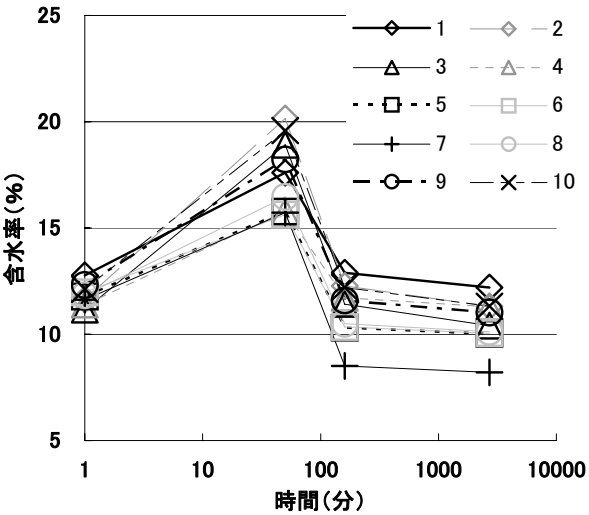


図2 曲げ木工程における含水率変化
（1分：蒸煮前、50分：蒸煮後、
170分：冷却後、2700分：2日後）

図3 高周波乾燥による材内部の焦げ

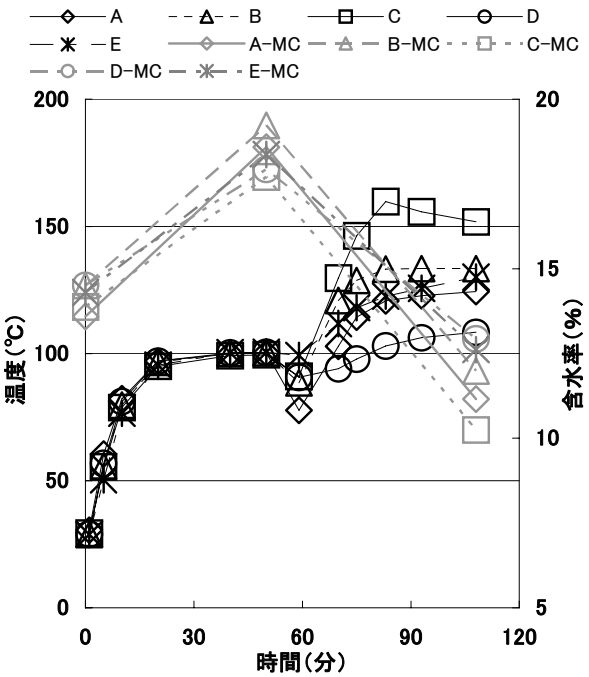


図4 蒸煮～高周波乾燥時の温度変化
及び含水率（MC）変化
（0～50分：蒸煮、60～110分：高周波乾燥）

2.3 高周波乾燥と乾燥室内乾燥の組み合わせ

【検討1】2.2の測定結果でみたように、高周波印加を50分間続けると、材温が高くなり焦げるものが多いにもかかわらず、乾燥不足気味であったことから、高周波乾燥と乾燥室内での乾燥を組み合わせることを検討した。

測定1及び2と同様に、50分間蒸煮したのち、高周波印加を15分間とした。またこのとき、最初の5分間は電流を0.7 Aに、残り10分間のそれを0.4 Aとした。続いて、室温が約98℃の乾燥室に移動させて60分間置いた。その後、1時間かけて常温まで冷却させた。

一連の工程における温度変化の様子を図5に、含水率変化の様子を図6に示す。2番の材1本だけが高周波乾燥時に約150℃まで昇温したが、全体的に110℃前後に落ち着いていた。これに続く乾燥室内での乾燥後半では90℃前後で推移していた。また、材内の焦げは2番の材のみにみられた。仕上がり含水率は2番の材で低かったものの、全体的に12%前後となり、測定1とほぼ同じであった。

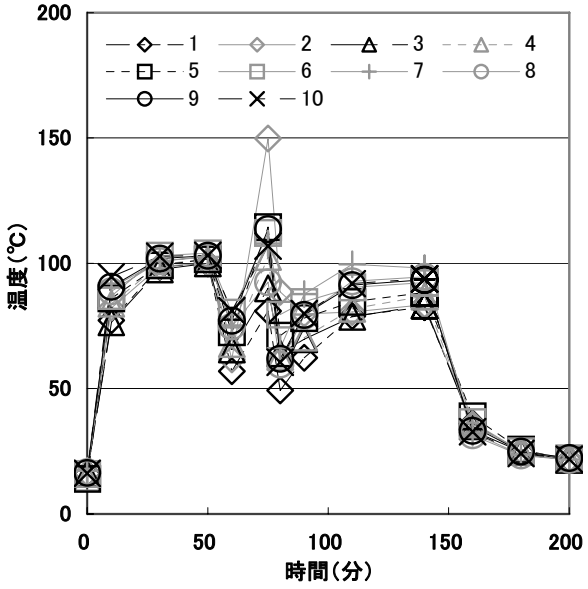


図5 蒸煮～高周波乾燥～乾燥室乾燥～冷却時の温度変化
（0～50分:蒸煮､60～75分:高周波乾燥、80～140分：乾燥室、以後：冷却）

2.4 高周波発振のオン・オフの組み合わせ

【検討2】高周波印加加熱では、材内部から温度が上昇していくことから、印加を停止したあとも余熱が残っていることは、これまでの測定から明らかである。そこで、この余熱による乾燥の程度を検討した。

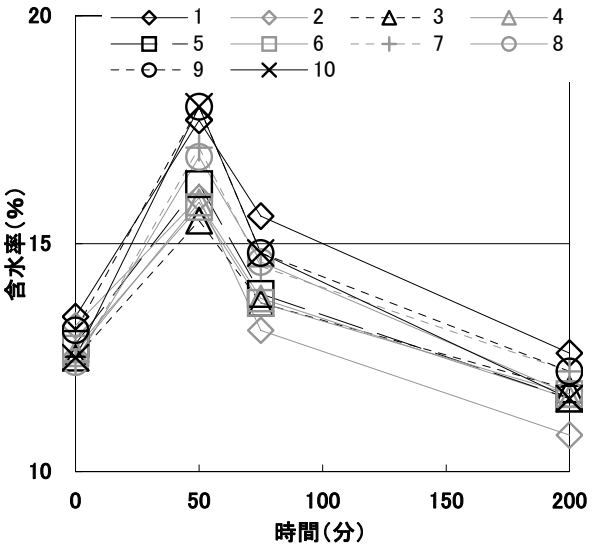


図6 曲げ木各工程後の含水率
（50分：蒸煮後、75分：高周波乾燥後、200分：乾燥室乾燥＋冷却後）

蒸煮処理をこれまでと同様に50分間行い、材温が100℃に近づいたのち、曲げ、検討1と同様に15分間（最初の5分間：0.7 A、残り10分間：0.4 A）、1回目の高周波印加を行った。その後、15分間は高周波印加を停止し、再度15分間、同様に高周波印加を行った。1回目の高周波印加からの温度変化の様子を図7に、蒸煮後及び冷却後の含水率を図8に示す。

7番の材1本だけが1回目及び2回目の高周波印加時に150℃まで昇温し、この材にのみ内部焦げがみられた。また、仕上がり含水率は13%前後のものが多く、これまでより乾燥が不十分であった。

3. まとめ 1

現状の高周波乾燥における温度測定を行った、測定1及び測定2の結果からは、高温になりすぎて材内部に焦げが生じやく、1回の作業で加工する10本中2～3本が不良となっていることも判明した。さらに、仕上がり含水率は12%前後とやや乾燥不足な傾向であった。そこで、高周波乾燥と乾燥室内での乾燥を組み合わせた検討1や、高周波乾燥と余熱乾燥を組み合わせた検討2の結果から、焦げによる不良材は減るが、仕上がり含水率がこれまでと同程度かやや高めになることがわかった。これらのことから、今回検討した各種組み合わせの乾燥方法には不良率低減の効果があると考えられ、乾燥時間や電力量を調整することで、最適な含水率にまで乾燥させることができれば、有効な改善策になると考える。

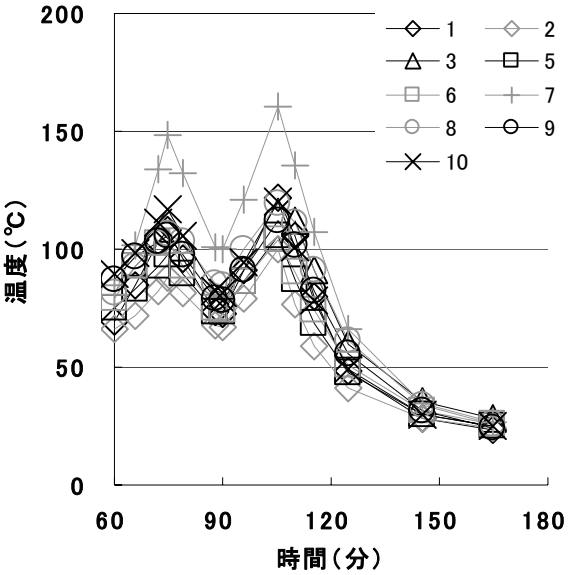


図7 蒸煮～高周波印加・停止・再印加～冷却時の温度変化
（0～50分：蒸煮、60～75分：高周波印加、～90分：印加停止、～105分：再印加、以後：冷却）

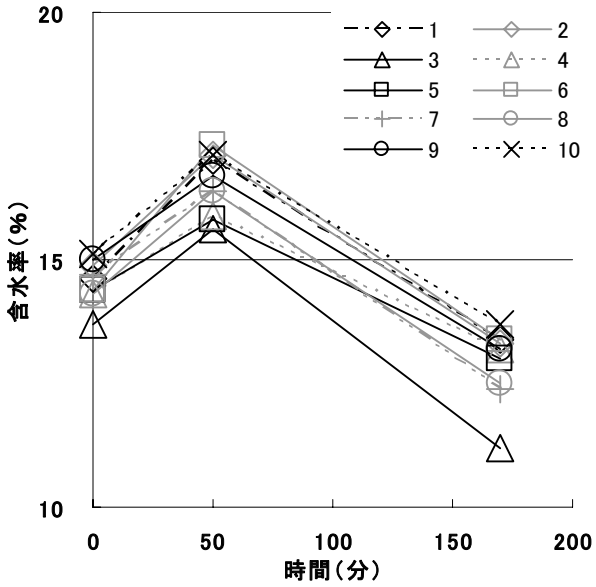


図8 蒸煮・冷却後の含水率変化
（50分：蒸煮後、165分：高周波乾燥＋冷却後）

4. 小型高周波加熱乾燥装置による実験

今年度導入した、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（図9）を用いて、目標乾燥水分量に対して、乾燥時間と必要電力量を定め、最適な乾燥条件を見出す基準を検討した。本装置の発振周波数は13.56 MHzであり、高周波出力は0～3000 Wの範囲で任意に調整できる。

図9 トランジスタ発振方式高周波加熱乾燥装置

4.1 材料

樹種はナラで、縦・横40 mm、長さ（繊維方向）25～40 cmの角材を用いた。材の含水率は、試料と繊維方向に連続する部分から立方体を切り出し、これを温度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。

4.2 高周波発振出力の計算

顕熱 (cal) =
〔木材全乾重量(g) × 木材比熱(cal / g・K)
+ 含水重量(g) × 水比熱(cal / g・K) 〕×ΔT(K)
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時間当たりに要する出力を求めることができる。

4.3 高周波加熱乾燥装置の加熱効率の確認

本装置の加熱効率を、形状4 ×4 ×40 cmの材（推定全乾重量：507 g）を用いて確認した。蒸煮後の含水率に近くなるように、温度30℃、相対湿度90%で調湿し、含水率17%（590 g）とした。この材を発振出力145 Wで30分間加熱したところ、567.7 gまで水分が減少した（−22.3 g）。また30分後の材温は中心部で128℃、端部で105℃であった。初期温度が30.5℃だったことから、材全体で平均84℃昇温したと推定した。木材比熱を0.3として、この場合、下記のように計算できる。

顕熱 = (507×0.3 + 83×1.0) × 84
= 19748.4 cal ― ①
潜熱 = (22.3×539)
= 12019.7 cal ― ②
①＋② = 31768.1 cal ― ③

投入熱量 = 72.5 Wh = 62338.8 cal ― ④

加熱効率 = ③ / ④ × 100

51%

したがって、今後の乾燥実験において必要な加熱出力を求める際は、加熱効率を50%として計算する。

4.4 高周波加熱乾燥実験

表1に実験で用いた材の推定全乾重量、乾燥前重量・含水率、乾燥後目標重量・含水率、必要な熱量（50%加熱効率として計算）を示す。

【実験1】材No.1（形状：4 ×4 ×26.5 cm）

設定乾燥時間を30分とすると、必要な発振出力は130 Wである。材に深さ2 cmの穴を図10のように8カ所あけた。なお、図中の番号は温度センサーの番号を表しており、結果の図にも同様の番号を用いている。

表1 実験材の各情報

材 No.	推定全乾重量 (g)	乾燥前 重量 (g) 含水率 (%)	乾燥後 目標重量 (g) 含水率 (%)	必要熱量 (kcal)
1	328.0	388 18.3	364.1 11	55.88
2	327.2	387 18.3	363.2 11	55.69
3	468.9	553.8 18.1	520.4 11	78.86
4	476.5	554.8 16.4	528.9 11	70.00
5	472.1	563.9 19.5	524 11	87.44
6	436.3	521.2 19.5	484.2 11	80.85

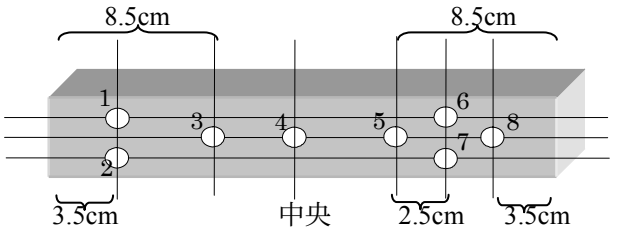


図10【実験1】【実験2】材No.1・2の温度測定箇所

図11に温度変化の様子を示す。高周波印加開始後9～10分で100℃に達し、その後は温度上昇がやや緩慢になる。また、材温の上がり方は中心ほど高い傾向にあることがわかった。30分後には目標重量にまで乾燥できており、乾燥条件が計算と合致したといえる。しかしながら、中央付近では15分以降から120℃を超え、150℃にまで至った部分があることから、材を縦方向に半分に切断し、焦げを確認したところ、うっすらと色づく程度であった。項目2での測定では、大半の材が約30分間120℃以上になっていたので、濃い焦げが多くみられたと考えられる。

【実験2】材No.2（形状：4 ×4 ×26.5 cm）

実験1と同様に、設定乾燥時間を30分とした。さらにまた、実験1では一部高温になる部分が見られたので、電力量を2段階に設定し、余熱での乾燥継続の可否を検討した。乾燥に必要な熱量の半分を印加開始から10分間で、残り半分を20分間で投入した。したがって、第1段階は195 W、第2段階は96 Wの設定とした。なお、温度センサーは実験1の材と同じ部分に深さ2 cmで挿入した。

図12に温度変化の結果を示す。実験1と比較して、最初の5分ほどで材温が100℃に達した。第2段階では、測温部4・5の温度がやや高めに推移したが、他の部分では温度を維持する程度の温度変化にとどまった。30分後の重量は366 gであり、目標値にはやや至らなかったが、その後の冷却過程1時間に余熱により残り分が乾燥した。また、材内部もきれいな状態で仕上がった。したがって、余熱の有効性が期待できると考えられる。

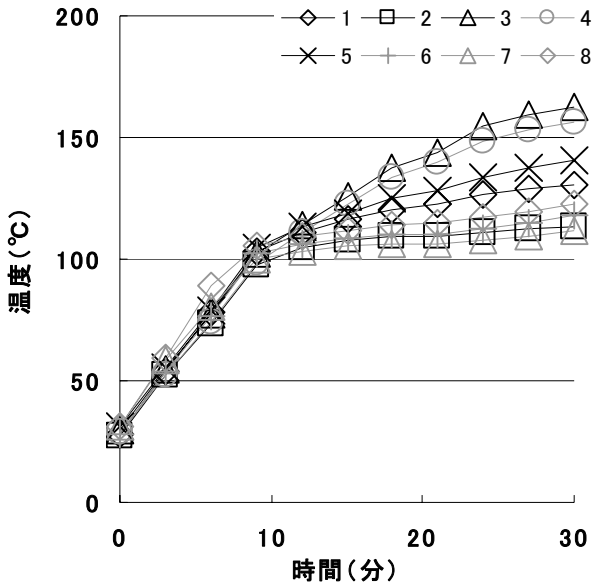


図11　【実験1】高周波印加時の温度変化

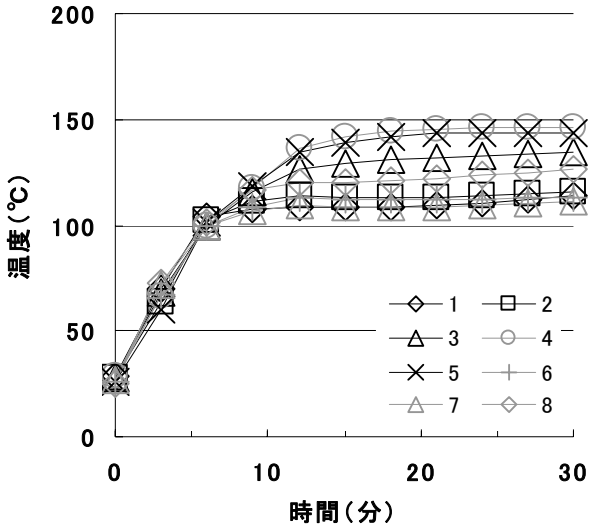


図12　【実験2】高周波印加時の温度変化

【実験3】材No.3（形状：4 ×4 ×40 cm）

寸法が長い材への1段階乾燥の適合性を検討するため、実験1と同様に、設定乾燥時間を30分間とした。必要な発振出力は183 Wである。温度センサー部位は図13に示す深さ2 cmの箇所とした。

図14に高周波印加10分後からの温度変化を示す。中央付近の温度上昇傾向は実験1とほぼ同様であったが、全体的にやや高温であった。30分後の重量は目標値よりも8 g重く、その後余熱で乾燥はするものの、実験1に比べて材内部の焦げ付きが目立った。したがって、長軸材になると、1段階の出力設定では高い出力が続くために、材への負担が大きいと考えられる。

【実験4】材No.4（形状：4 ×4 ×40 cm）

寸法が長い材への2段階乾燥の有効性を検討した。実験3と同様に、設定乾燥時間を30分間とし、必要な熱量の約60%相当分を印加開始から10分間で、残りを20分間で投入した。したがって、第1段階は279 Wに、第2段階は104 Wに設定した。なお、温度センサーは実験3の材と同じ部分に挿入した。

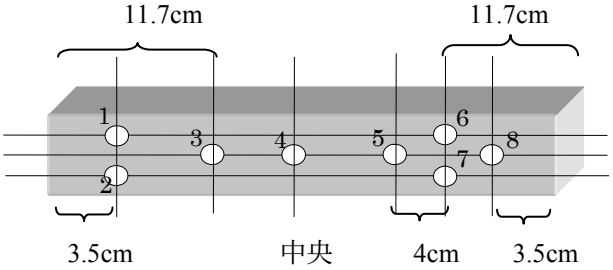


図13【実験3】【実験4】材No.3・4の温度測定箇所

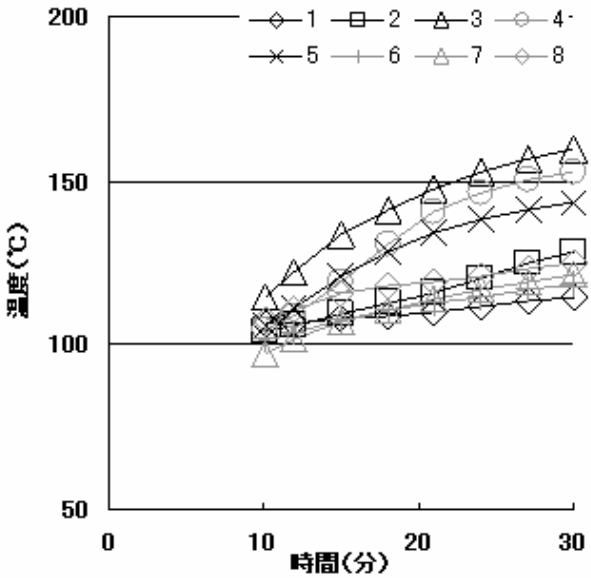


図14　【実験3】高周波印加時の温度変化

図15に温度変化の結果を示す。第2段階への切換え後、両端部の材温はやや低下するものの、中央部付近ではほぼ一定に保たれた。30分後の重量も目標値に至っており、材内の状態もきれいであった。したがって、長尺材を乾燥させるには、1段階出力では強すぎるため、複数段階にして余熱を利用する乾燥条件を検討していく必要があると考えられる。

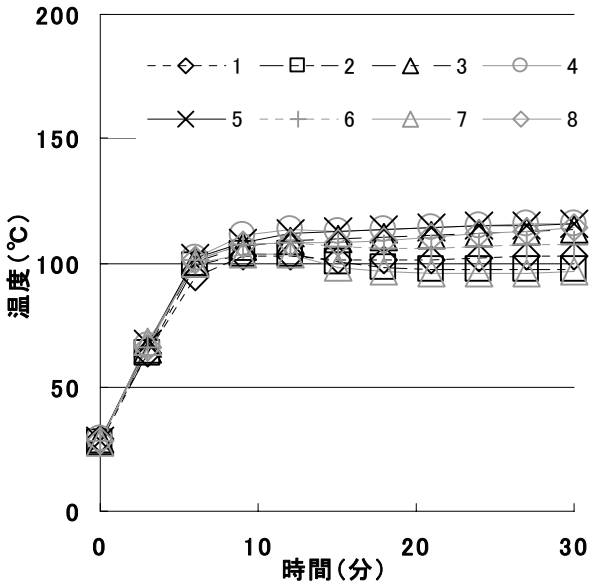


図15　【実験4】高周波印加時の温度変化

【実験5】材No.5（形状：4 ×4 ×40 cm）
材No.6（形状：4 ×4 ×40 cm）

家具製造工場においては、複数本を同時に乾燥させるため、各々の材に必要な投入電力量の加法計算の適合性を検討した。なお、両材ともに温度センサーは図13の1､3､4､8番に深さ2 cmで挿入し、順にNo.5材では1、2、3、4、No.6材では1’、2’、3’、4’と番号付けた。発振出力は、両材の必要熱量を加えた値から求めた391 Wとした。

図16に温度変化の様子を示す。加熱初期から、全体的な材温上昇は材No.5の方で速く､かなりの高温にまで達した。乾燥30分後、高温になったNo.5材では目標値よりも6 g余分に乾燥していた。一方、No.6材では6 g乾燥不足であった。したがって、両材の水分減少量を合わせると目標値にかなっていたが、乾燥程度にばらつきが生じたことになる。ところで、現場での温度測定時にも材間で温度のばらつきが多々見られたことからも、複数本の同時加熱では、材への電気の流れ方が均等でないと予測された。この原因を解明することが、複数本の同時乾燥では必須と考えられる。

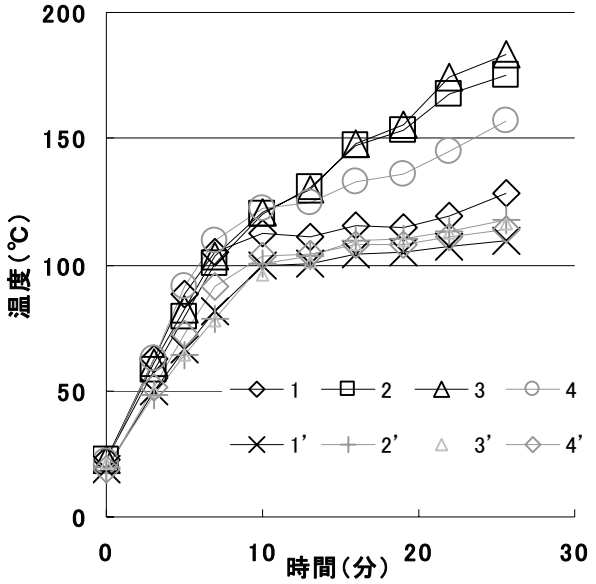


図16 【実験5】材2本同時高周波印加時の温度変化
センサー1,2,3,4：材No.5
センサー1’,2’,3’,4’：材No.6

5. まとめ　2

トランジスタ発振方式高周波加熱乾燥装置を用いての乾燥実験での検討から、乾燥させたい水分量に対して必要な熱量は、顕熱及び潜熱に基づき設定できることがわかった。ただし、特に長尺材では、発振出力を2段階に調整するなど、余熱を利用した焦げへの対策を講じる必要がある。

なお、複数本への適合性や、より短時間での乾燥仕上げの検討等は今後の課題とする。

また、工場で使用されている高周波発振器からの出力設定は電流を調整して行うため、正確な電圧値を知り、空間等への放射損失も考慮した上で、乾燥に必要な熱量をもとにした電流調整が必要と考えられる。

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.67-71，2007.

木質住環境の快適性評価に関する研究（第1報）
ダニの繁殖性実験

西垣 康広[*1]、安藤 敏弘[*2]、村田 明宏[*3]

Study on Comfortable Evaluation of Woody Living environment (I)
Breeding Experiment of Ticks

Yasuhiro NISHIGAKI[*1], Toshihiro ANDO[*2] and Akihiro MURATA[*3]

調湿性能があるヒューミライトと調湿性能が無い石膏ボードをチャンバー内において、温度は23.0℃と一定とし、相対湿度を12時間毎に80%RH、50%RHと変化させてダニの繁殖性実験を行い、チャンバー内の空気質（温度・湿度、アルデヒド類、揮発性有機化合物）がダニの生息数に及ぼす影響について検証した。その結果、それぞれの試験材を入れたチャンバー内のアルデヒド類、揮発性有機化合物の放散濃度には顕著な違いは見られなかった。一方、高湿状態（80%RH）にした場合、石膏ボードを入れたチャンバー内の相対湿度は12時間経過後は設定値に近づき70%RHとなったが、ヒューミライトを入れたチャンバー内の相対湿度は、設定値よりも低くく59%RHとなった。またダニの生息数は、ヒューミライトを入れたチャンバーの方が石膏ボードを入れたチャンバーよりも少なくなった。これらの結果からチャンバー内の空気質の放散成分よりも相対湿度がダニの繁殖性と密接な関係があることがわかった。

1. 緒言

戦後のわが国では新しい建材や建築方法が導入され、木造住宅からコンクリート造、プレハブ造へ移り代わった。また土壁からビニルクロスへの変更及びアルミサッシの普及により住宅の気密性は格段に向上した。昔の木造住宅ではすきま風による適度な空気の流れがあったが、現在の住宅では気密性が向上したことと換気回数の減少により部屋の隅などに空気の流れが悪い場所が生じ、局部的に湿度が高くなる場所が存在している。さらに暖房設備等の家電製品の普及によって室内は高温多湿となった。このように住環境の変化がダニ[1,2]の生育しやすい環境を生み出し、ダニが増える原因の一つになった。特に最近では、室内塵の中に生息するダニの数が増え続けており、室内に生息するダニの数は 30 年前に比べて、現在では 2.5 倍以上にもなった。この増え続けるダニが喘息や鼻アレルギー、アトピー性皮膚炎等のアレルギーの原因となって健康阻害を引き起こし、社会問題となっている。

木材には揮発成分によるリラグゼーション効果、調湿効果などがある。しかし、木材をはじめ、調湿効果がダニの繁殖性に及ぼす影響について実証した報告はほとんどない。このため本研究では住環境の快適性を評価するために木材よりも調湿効果が高い調湿建材を使用して調湿機能がダニの繁殖性にどのような影響を与えるかについて検証を行い、基礎的な知見を得たので報告する。

2. 実験方法

2.1 ダニ繁殖性実験

2.1.1 実験用チャンバー

写真1に示すチャンバー（外部チャンバー：濃尾電機株式会社製VOC測定用簡易チャンバー；2610 mm×1670 mm×2130 mm）内に写真2に示す2つのチャンバー（内部チャンバー：ESPEC製VOC用スモー

[*1] 試験研究部（住環境研究室）
[*2] 機械材料研究所
[*3] 研究開発課

写真 1 外部チャンバー

写真 2 内部チャンバー

ルチャンバー；1000 mm×1000 mm×1000 mm）を設置した。

2.1.2 実験条件

外部チャンバーの温度は 22.5℃に設定し、内部チャンバーの内部を12時間ごとにそれぞれ23.0℃、80%RH と 23.0℃、50%RH になるように調整した。また、換気回数は 0.5 回/h とし、気積比を 1.1 m^2/m^3 とした。

それぞれのチャンバー内に 1000 mm×550 mm の調湿建材のヒューミライト（写真 3：日本インシュレーション（株）製）と同サイズの石膏ボード（写真 4）を入れた。いずれの試験材も 1 面を除いた 5 面をアルミテープによりシールをした。また温湿度と風速を測定するために温熱環境計と温湿度測定データロガーを設置した。それを写真 5 に示す。

チャンバー内で繁殖性実験に使用したダニが入った袋とダニの写真をそれぞれ写真 6,7 に示す。

写真 3 ヒューミライト

写真 4 石膏ボード

写真 5 チャンバー内部

写真 6 ダニの入った袋

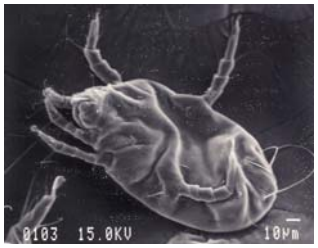


写真 7 実験に使用したダニ

ダニは家庭に生息している一般的なヤケヒョウヒダニを使用した。これを不織布でできた袋に50匹とダニの飼料（オリエンタル酵母株式会社製実験動物用粉末飼料とアサヒビール薬品株式会社製日本薬局方 乾燥酵母）を約3 gを入れ封入した。この袋を10日毎にチャンバーから取り出し、ダニの生息数の計測を（株）愛研に委託した。これを70日まで継続して行った。

2.1.3 チャンバー内空気測定方法

チャンバー内の空気のサンプリングは、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た。また、アルデヒド類については、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、エアポンプでチャンバー内空気を 0.34 L／min の速度で 30 分間、10 L 捕集した。分析条件は村田らの報告[3]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、検量線より定量した。測定項目は、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、プロピオンアルデヒド、イソブチルアルデヒド、イソバレルアルデヒド、n-バレルアルデヒドである。

VOCsについては、JIS A 1966 室内空気中の揮発性有機化合物（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0.167 ml／minの速度で30分間、5 L捕集した。分析は村田らの報告[3]と同様に、加熱脱着－GC/MS法により行った。

3. 結果と考察

3.1 チャンバー内の温度及び湿度

温湿度測定データロガーによるチャンバー内の温度と湿度の測定結果をそれぞれ図 1,2 に示す。図 1 よりヒューミライトと石膏ボードを入れたチャンバー内の温度は、それぞれ 22.5℃から 22.9℃、22.3℃から 22.6℃であった。また温度の変動は類似していた。

次に図 2 より石膏ボードを入れたチャンバー内の相対湿度は、80%RH に設定した 12 時間後には 70%RH となったが、ヒューミライトを入れたチャンバー内の相対湿度は 59%RH となった。これは石膏ボードは調湿機能が無いために時間の経過と共に設定した 80%RH に近づいたと考えられるが、ヒューミライトは調湿機能があるため、石膏ボードのように相対湿度は高くならなかったと考えられる。

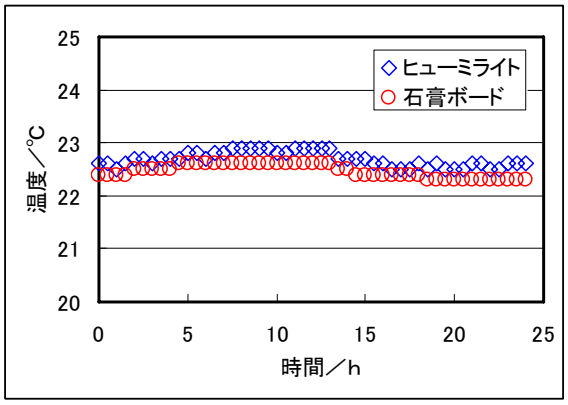


図 1 チャンバー内の温度の測定例

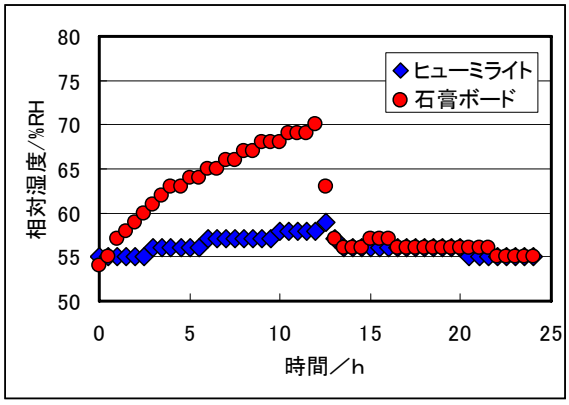


図 2 チャンバー内の湿度の測定例

3.2 チャンバー内の空気質

3.2.1 アルデヒド類

アルデヒド類の中で検出されたのはホルムアルデヒドとアセトアルデヒドであり、プロピオンアルデヒド、イソブチルアルデヒド、イソバレルアルデヒド、n-バレルアルデヒドについては、検出限界以下であったため、定量は不可能であった。

ホルムアルデヒドの放散濃度は、ヒューミライトを入れたチャンバー内と石膏ボードを入れたチャンバー内ではそれぞれ 0.042 ppm と 0.045 ppm であり、厚生労働省の指針値が 0.08 ppm であることから、本研究に使用した実験環境では指針値以下であった。

次にアセトアルデヒドの放散濃度は、ヒューミライトを入れたチャンバーでは 0.010 ppm であったが、石膏ボードを入れたチャンバーでは 0.011 ppm であった。また厚生労働省の指針値が 0.03 ppm であることから、本研究に使用した実験環境では指針値以下であった。

ヒューミライトを入れたチャンバーのホルムアルデヒドとアセトアルデヒドの濃度が石膏ボードを入れたチャンバーのそれよりも低いのは、ヒューミライトがこれらのガスを吸着したためであると考えられる。ヒューミライトには細孔が存在するためガスを吸着することができる。一方石膏ボードにはそのような細孔は存在しないため、ガスはほとんど吸着できないことが原因と考えられる。

3.2.2 揮発性有機物質(VOCs)

ヒューミライトを入れたチャンバー内の空気、石膏ボードを入れたチャンバー内の空気とチャンバーのある部屋の空気を採取し、GC/MS により分析した。そのクロマトグラムを図 3,4 に示す。2 つのクロマトグラムは類似しており、空気質に顕著な違いは見られなかった。

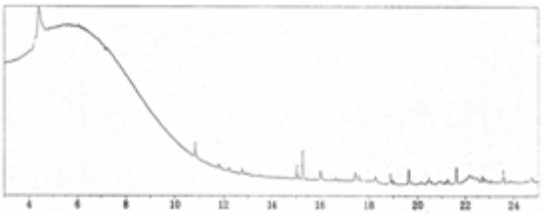


図 3 ヒューミライトを入れたチャンバー内の空気質の GC/MS クロマトグラム

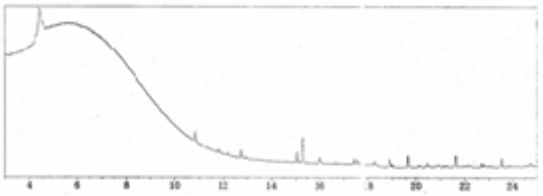


図 4 石膏ボードを入れたチャンバー内の空気質の GC/MS クロマトグラム

3.3 ダニの繁殖性

ダニの繁殖性実験の結果を図 6 に示す。実験開始 20 日までは、どちらのチャンバー内のダニの生息数に顕著な違いは見られなかったが、30 日を過ぎてからは徐々にダニの生息数に違いが見られる

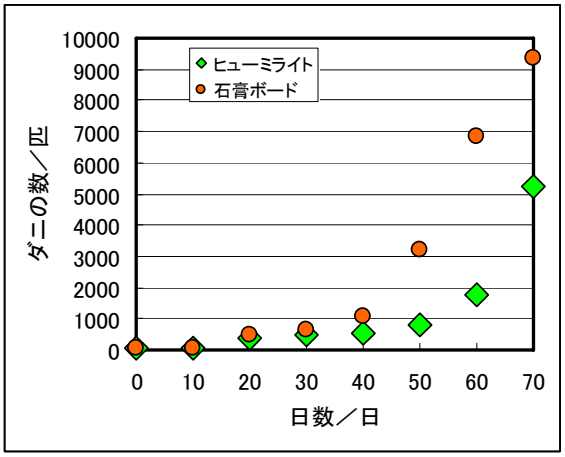


図 6 経過日数とダニの生息数

ようになった。60 日後には石膏ボードを入れたチャンバーのダニの数は、ヒューミライトを入れたチャンバーのダニの数の約 4 倍となり、実験開始 20 日までは、どちらのチャンバー内のダニの生息数に顕著な違いは見られなかったが、30 日を過ぎてからは徐々にダニの生息数に違いが見られるようになった。60 日後には石膏ボードを入れたチャンバーのダニの数は、ヒューミライトを入れたチャンバーのダニの数の約 4 倍となり、ヒューミライトを入れたチャンバー内のダニよりも石膏ボードを入れたチャンバー内のダニの方が多くなったことがわかる。

ヒューミライトを入れたチャンバーと石膏ボードを入れたチャンバーの空気質は、アルデヒド類と揮発性有機化合物について目立って顕著な違いが見られないことから、チャンバー内の空気質がダニの繁殖性に影響を与えた可能性は低いと考えられる。

次にヒューミライトを入れたチャンバー内の相対湿度と石膏ボードを入れたチャンバー内の相対湿度には顕著な違いが見られた。石膏ボードを入れたチャンバー内の相対湿度は高く、ダニの生息数も多かったが、ヒューミライトを入れたチャンバー内の相対湿度は、石膏ボードを入れたチャンバー内の相対湿度よりも低く、ダニの生息数も少なかった。これらの結果からチャンバー内の相対湿度とダニの繁殖性は密接な関係があると考えられる。これは宮崎らの相対湿度が 75%､85%ではダニ数は増加するのに対し、湿度が 61%より下がると極端に行動が抑制されるという報告 [4]と一致した。

4. まとめ

調湿性能があるヒューミライトと調湿性能がない石膏ボードをチャンバーに入れ、空気質（温湿度、アルデヒド類と揮発性有機化合物）とダニの繁殖性について検討行い以下の知見を得た。

1) 調湿性能があるヒューミライトを入れたチャンバー内の相対湿度は、12時間後には設定値（80%RH）よりも低く59%RHとなったが、調湿性能が無い石膏ボードを入れたチャンバー内の相対湿度は、設定値に近づき70%RHとなった。
2) ホルムアルデヒド及びアセトアルデヒドの放散量は、石膏ボードよりもヒューミライトを入れたチャンバー内の方が低くなった。これはヒューミライトの細孔を有する構造が起因しており、ガスが吸着されたためと考えられる。
3) 揮発性有機物質の測定では、試験材の違いによる揮発成分の顕著な違いは見られなかった。
4) ヒューミライトを入れたチャンバー内のダニの生息数は、石膏ボードを入れたチャンバー内のそれよりも少なかった。
5) ダニの繁殖性は、チャンバー内のアルデヒド類や揮発性有機化合物の揮発成分の放散の影響よりも相対湿度の影響を受けたことがわかった。

謝辞

本研究は、日本インシュレーション（株）及び岐阜大学医学部附属病院小児科との共同・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) 高岡正敏：お茶の水医学雑誌，34，277-288 (1986).
2) 高岡正敏:アレルギーの臨床, 9, 96-100(1989).
3) 村田明宏，鈴木崇稔：岐阜県生活技術研究所研究報告，7，42-44(2005).
4) Y.Oribe and Y.Miyazaki : J. Physiolo. Anthoropo., 19(4), 201-203(2000).

軟質木材の高度利用研究（第3報）
ロール圧密による表層圧密木材の実用化

長谷川 良一[*1]、児玉 順一[*2]

The Study of High Utilization for Soft Wood (III)
Practical use of Surface Compressed Wood on Roll Press System

Ryoichi HASEGAWA[*1], Junichi KODAMA[*2]

圧密木材の実用化を目的に、長さ1 mのフローリング用板材と木製ドア用の框材の2種類の製造条件を明らかにすると共に、木製ドアの框材への利用について検討を行った。その結果、

1) ロールにより圧縮された表層部の固定には、シリコン樹脂を使用した。樹脂の硬化は、小試験体時の温度条件では、パンクを起こす確率が高かった。その改善策として、圧締時間の延長や材側面に孔をあけによる蒸気抜きが有効であった。
2) 表層をシリコン樹脂で固定した圧密木材は、板材の場合、無処理スギと吸放湿性能は変わらなかったが、熱圧締時間が長い框材では、表面からの水分の吸放湿が少なくなっていた。また、一部框材は吸放湿を繰り返すうちに、早材と晩材の境界層において若干はく離が発生し、加熱処理の影響が見られた。
3) 長さ1 mの圧密木材を製造し、框材に利用し実際の2分の1サイズのスギ無垢ドアを試作した。乾湿に伴う縦框の変形が少なくかつ、パネル部分の反り狂いも少なく、圧密木材を框材に使用することは有効であった。

1. 緒言

一般的に国産のスギ、ヒノキ、アカマツ等の針葉樹材は、広葉樹材に比べ軟質であるため表面に傷がつきやすく、また曲げやせん断力に対する強度が小さいため、これまで高品質なフローリング材や家具としての利用は少ない状況にある。しかし、近年、外材の価格高騰、優良材の資源不足、環境問題から、国内産の木材を利用することが見直されている。そこで我々は、広葉樹材に比べ軟質なスギ、ヒノキ、アカマツの高度利用を目指すため、①接合部の強度増加　②表面の硬さ向上　③環境負荷の少ない新たな表面処理（塗装）を本研究の課題として、種々の手法を検討してきた。1年目には、①に関して積層圧縮技術を利用し、強度性能を増したＬ型もしくはＴ型部材を提案した。2年目には、②に関して、ロール圧密による表層圧度である今回は、②の実用化を図るため、スギ材密木材の製造手法を明らかにした。そこで最終年の実大材を圧密化する機械の設計とその製造条件を確立すると共に、その使用例として特にドア框材への利用の可能性を検討した。

[*1] 岐阜県生活技術研究所
[*2] 山本ビニター（株）

2. 実大材の表層圧密木材

実大材の表層圧密木材を製造する場合、表層圧縮と樹脂含浸、樹脂硬化と再圧縮の2工程に分離するシステムを提案した。第1工程としてロール圧縮と樹脂含浸工程を連続で処理する機械を製作した。第2工程は、含浸した樹脂の硬化と表層を圧密化するため高周波発信器を備えたホットプレスを使用した。ロール部分は3連式とし、1回のロールにより0.5 mm圧縮し、目標とする圧縮量に到達するまで、ロール間を往復する。所定の圧縮が施された材は樹脂槽に投入され、一定時間樹脂液中に浸漬される。圧縮履歴を受けた木材は、表層が元に戻ろうとする回復力を利用し、木材表層に樹脂液が

含浸される。その後木材表面に余剰に付着した樹脂を搾り取られながら材が戻ってくる。次に材を高周波発信を内蔵したホットプレスの熱盤間に材を入れ、ディスタンスバーにより目標とする厚さに圧縮しながら加熱し、表層圧密木材が完成する。

2.1 供試木材

実大材の板材として、吉野産のスギ（*Cryptomeria* japonica D.Don）板目材を用いた。平均含水率は、12%であった。寸法は、120（接線方向:W）×20（半径方向:T）×1000 mm（繊維方向:L）とした。辺心材の割合は選別しなかった。

またドアの框部材は、親和木材工業（株）が製造した県産材のスギ集成材を使用した。集成材は、3層構成であり、接着剤は、水溶性ビニルウレタンが使用されていた。この集成材は、製材側板を利用しているため、辺材部が多く占めている材料である。寸法は、120（接線方向:W）×36（半径方向:T）×1000 mm（繊維方向:L）とした。

2.2 表層圧密木材の製造条件

圧密木材は、ブナ、ナラの汎用広葉樹並みの性能を目標とした。デュポン衝撃が落下高さ300 mmでへこみ量0.6 mm以下、ブリネル硬さが1.0 kgf/mm^{2}以上、テーバー摩耗は厚さ減少量が0.1 mm以下とし、ホルムアルデヒド放散量は$F_{☆☆☆☆}$の0.4 mg/L以下に設定した。このための製造条件を、圧縮量4mm、樹脂液中の浸漬時間は30秒とし、圧縮層を固定する樹脂として、シリコン樹脂（信越化学製）を使用した。

板材での樹脂固定条件は、熱盤温度を180℃とし、5分間圧締した。その間1分間高周波を印加したが、小試験体では見られなかったパンクの発生や材表面の膨れが頻繁に発生したため、材の側面に微小な孔を開け蒸気抜きをする軌道を確保する手法を試みた。

また、框材に対しては、圧縮量や樹脂浸漬時間は板材と同様としたが、樹脂硬化の条件を、熱盤温度180℃として20分間圧締した。当初積層部分における破壊が発生したが、接着剤の塗布管理を厳格に実施することで解決された。なお、圧密木材の製造は山本ビニター（株）八尾工場において行った。

2.3 評価試験

板材の圧密木材については、前年同様、表面性能を中心に、耐衝撃性（デュポン衝撃試験）、硬度（ブリネル硬さ試験）、耐摩耗性（テーバー摩耗試験）、鉛筆硬度試験、接着せん断試験、ホルムアルデヒド放散量について測定した。この他に表層からの吸放湿性能を確認するための乾湿繰り返しによる環境試験を実施した。詳細条件を以下に示す。

2.3.1 乾湿繰り返し試験

長さ1 mの試験体を恒温恒湿内に桟積みし、40℃・93%RH 下24時間⇔40℃・30%RH下24時間を交互に7サイクル繰り返した。試験体の両木口面及び側面をアルミテープでシールし両表面からの吸放湿に限定し、重量測定を追跡した。

2.4 圧密木材の利用

圧密木材を框部分に使用し、実際の2分の1サイズの木製ドアを試作した（写真）。ドアのパネル部分は、無処理のスギ材の幅はぎ板を使用した。このドアを用い環境試験を実施しドアの変形を測定した。30℃・90%RH下24時間⇔30℃・30%RH下24時間を交互に繰り返し、ドア全体の変形をレーザー変歪測定装置（メカトロニクス製）を用い30 mmピッチで測定した。

3. 結果と考察

長さ1 mの実大サイズのスギ圧密木材を製造した結果、前年度までの硬化条件では、パンク、膨れが発生するケースが多かった。これは、長尺材になることにより、木口からの蒸気の抜けが悪くなることが原因である。このため、板材では、材の側面に微小な孔を開け蒸気抜きをする軌道を確保した結果、平滑な圧密表面を調整することが出来た。

また、ドア框材では、材の側面に孔を開けることは、意匠的にも好ましくないため、圧締時間を長くする手法をとった。しかし、熱盤の圧締時間を長くすることにより、木材表面の熱に対するダメージが、乾湿繰り返しをすることにより発生することが判った。

3.1 板材の性能

図1にデュポン衝撃試験による耐衝撃性結果を示す。両高さからの衝撃による材表面のへこみは、圧密することにより約1/2に減少しており、耐衝撃性は改善された。

図2にブリネル硬さを示す。圧密表面は、無処理のスギに比べ、平均値で2倍以上増加していた。

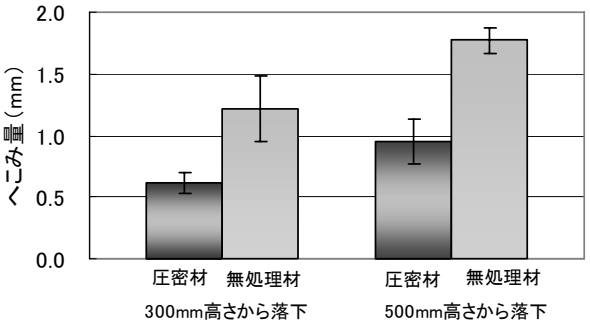


図1　耐衝撃性

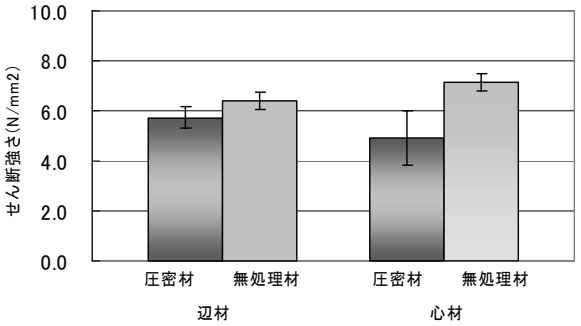


図4　接着性（PI）

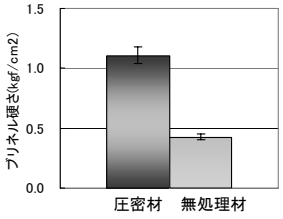


図2　表面硬さ

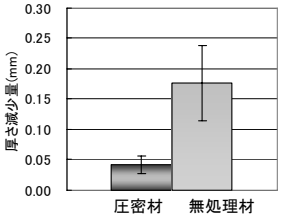


図3　耐摩耗性

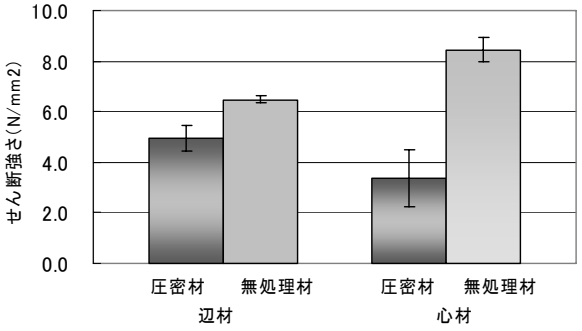


図5　接着性（CH）

圧密表面の方がブリネル硬さにバラツキが大きいのは、ブリネル硬さの測定が、材表面の局所的な部分を測定するため、樹脂の含浸ムラが影響されているものと考える。

図3にテーバー試験による耐摩耗結果を示す。圧密表面は、厚さ減少量が大幅に減少しかつ、バラツキも小さい状態となった。圧密木材は摩耗性に対する効果は高かった。

図4,5圧密表面の接着せん断強度を示す。

圧密木材の接着性を確認するために、圧密表面同士を接着し、せん断強さを測定した。接着剤は、木工用ボンド（酢酸ビニル樹脂エマルジョン コニシCH18タイプ 以下CH）と、ピーアイボンド（水性高分子-イソシアネート系木材接着剤、（株）オーシカ、TP-111タイプ 以下PI）を使用した。両接着剤のせん断強度は、CHでは、44%低下、PIでは、21%低下しており、圧密表面の接着性は低下した。特にCHにおける心材部のせん断強度の低下が著しく、木部破断率がほとんど得られない状況であった。これは、シリコン樹脂による濡れ性の低下が原因であるため、接着時には、プライマーやサンディングが必要である。

図6に板材の高湿又は低湿環境下における吸放湿性能を示す。1 mの板材では、40℃・93%RH（EMC22%）⇔40℃・30%RH(EMC5.5%)における吸湿量は、無処理スギ材が平均34.91 gに対して、圧密材が33.00 gであった。樹脂硬化時間が短いため、熱処理の影響は小さく、板材表面からの吸放湿性能は大きく変わっていなかった。圧密木材をフローリングや腰板として利用する場合、木材としての吸放湿性能は保たれると思われる。

ホルムアルデヒド放散量は、平均0.09 mg/L、最大0.11 mg/Lのホルムアルデヒドが検出されたが、F☆☆☆☆の範囲内であった。これらのことから、内装材としての利用は適すると考える。

鉛筆硬度に関しては、圧密表面にブラウン着色したウレタン塗装を施し、引っかき硬度を調べた。その結果、一番軟らかい6 Bにおいて傷が確認された。圧密表面のシリコン樹脂が塗装の密着性を阻害していると考えられるため、圧密表面に軽くサンダーをかけ、その後塗装した表面を評価した結果、6 Bで傷が確認されたものの、その傷の程度は小さくなっており、圧密処理表面に対しては、塗装の密着性を向上するためには、表面にサンダーをかける必要がある。

3.2 ドア框材としての性能

圧密木材の利用方法として、木製ドアの框部分に利用することを提案した。そこで、親和木材

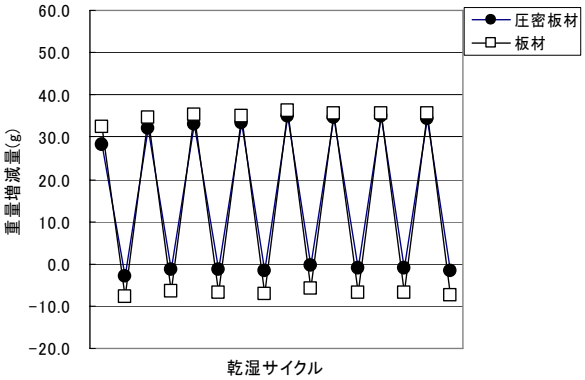


図6　板材の吸放湿
（W120×t15×L1000mm）

工業（株）の協力の下、実際の2分の1サイズのドアを4枚試作し、環境試験によるドアの重量、変形について経時測定を行った。

図7に試作ドアの乾湿に伴う重量変化を示す。試作ドアは2分1のサイズであるにもかかわらず、環境が 30 ℃ 30 % (EMC6 %)→30 ℃ 90 % (EMC20%)に変化することにより、無塗装状態であるが、24時間で約200 gの水蒸気を吸収するのに対して、框材に圧密木材を使用することにより、約160 gになり吸湿量が2割減少した。木製の無垢ドアは、重量変動も狂いに影響を与えると推察される。

框材のみの部材の吸放湿を図8に示す。無処理に比べ、圧密框材は吸放湿量が減少していた。両タイプの框材ともヒステレシスの影響から乾湿サイクルを繰り返すに従い、右上がりのグラフとなった。これは、厚さ約30 mmの材に対しては、24時間の放湿では短いためである。

ドアの框材部分の変形挙動を図9,10に示す。無処理框材は、中央部に凸の発生するのに対して、圧密框材は温湿度環境が変化しても、フラットな形状を保っていた。圧密木材を框材に使用することにより、ドアの枠材の形状が安定すると考えられる。

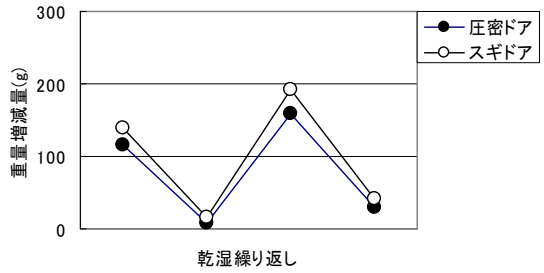


図7 ドア全体の重量変化

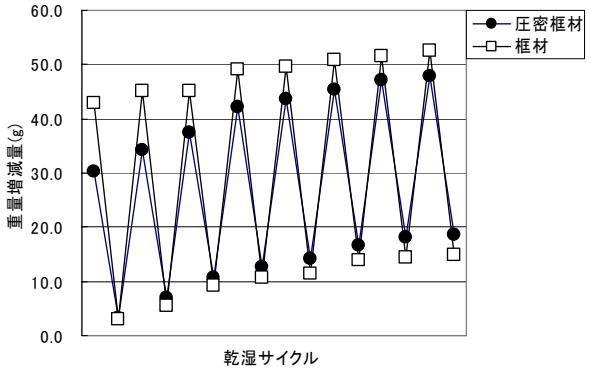


図8 ドア框材の吸放湿
（W90×T32×L1000mm）

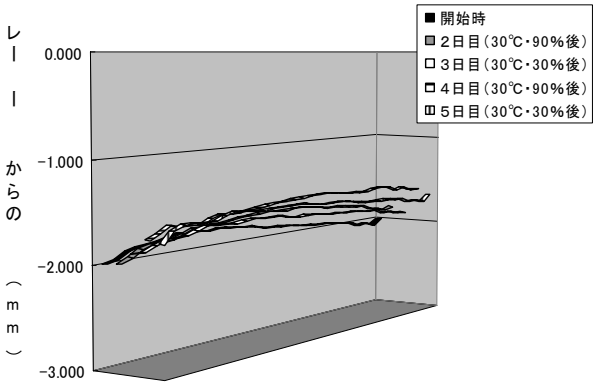


図9　圧密縦框材の変形挙動

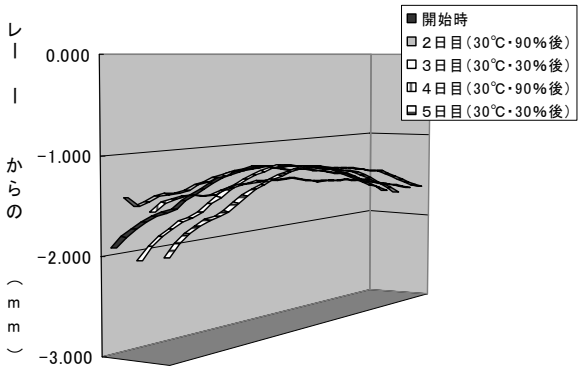


図10　無処理スギ縦框材の変形挙動

図11,12にドアパネル部分の面全体の凹凸を示す。無処理のスギ框を使用したドアのパネル部分は、乾燥時に中央部が凸に変形するのに対して、圧密框のパネル部分は、高湿から低湿に環境が変化しても、変形は少なくフラットな状態を保っていた。これらにより、ドアの框部分に圧密木材を使用することは、ドア全体の変形を抑制することに役立つと考えられる。

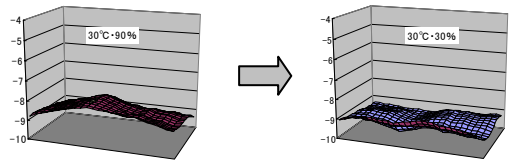


図 11　ドアパネル部分の変形（框材は、圧密材）

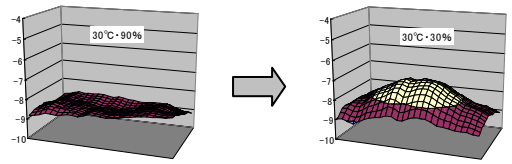


図 12　ドアパネル部分の変形(框材は､無処理スギ材)

4. まとめ

今回の研究では、ロールにより表層細胞を選択的に圧縮し、その後樹脂により圧縮層を固定化する表層圧密木材の実用化について検討した結果、次の知見を得た。

1) 圧密木材の製造システムとして､表層圧縮と樹脂含浸、樹脂硬化と再圧縮の2工程に分離するシステムを提案した。
2) フローリングを想定した板材と木製ドアの框部材を圧密化する製造条件は､圧縮量は4 mm､樹脂液中の浸漬時間は30秒とした。圧縮層を固定する樹脂は、シリコン樹脂（信越化学製）を使用した。
3) 板材の樹脂硬化条件は､熱盤温度を180℃とし、5分間圧締、その間1分間高周波を印加した。パンクの発生や材表面の膨れ防止のため、材の側面に微小な孔を開け蒸気抜きをする軌道を確保する手法が有効であった。一方框部材に対しては、圧縮量や樹脂浸漬時間は板材と同様としたが、樹脂の硬化については、熱盤温度を180℃として20分間圧締した。
4) 圧密木材は､板材の場合､耐衝撃性､表面硬さ、耐摩耗性などの表面性能が向上しながら、吸放湿性能が無垢材と同程度に維持されているため、内装材としての利用に適する。また、圧密框部材は、乾湿に伴う変形が少なく、木製ドアの課題である反り、狂いの防止に貢献する部材であった。
5) 今後、圧密木材の課題として、接着性能、塗膜の密着性、早材晩材の境界のはく離について原因と改善策を探索する必要がある。

謝辞

本研究は、東京大学アジア生物資源循環環境センター　井上雅文及び、山本ビニター（株）との共同・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) 長谷川良一，児玉順一，井上雅文：日本木材学会中部支部大会研究発表要旨集, p73-74, 2004.
2) 長谷川良一，児玉順一：岐阜県生活技術研究所研究報告，No.9，50-57，2007.

上肢支援型起立動作補助装置の開発（第2報）
座面の移動軌道と心地の関係

坂東 直行[*1]、村田 明宏[*2]、山田 宏尚[*3]
森田 啓之[*4]、田中 邦彦[*4]

Development of assist machine for the motion of standing up using human's upperarm power (II)
Relation between orbit of movement on seat and feelings

Naoyuki BANDO[*1], Akihiro MURATA[*2], Hironao YAMADA[*3]
Hironobu MORITA[*4], Kunihiko TANAKA[*4]

起立補助椅子における座面の移動軌道とユーザの感覚面の関係を調べるため、官能検査実験を行った。
その結果、差異ある座面の移動パターンが人に及ぼす影響の優劣判定には、人に共通した評価基準があり、これは不安感であると推察された。
また、ユーザに不安感を与えない座面移動を行うには、起立補助椅子の座面の動きが上方向に押し上げる動きで完了することが重要であると考えられた。しかし、現在市場にある起立補助椅子の大多数は、座面が直線的に動くものか、座面が上に凸の軌跡を描きながら動くものがおおく、このような動きになっていない。ユーザの不安感を少なくし、満足度を高めためにも、早期の解決が望まれる。

1. 緒言

人が椅子から立ち上がるときの動作を補助する装置として起立補助椅子がある。

起立補助椅子は、ユーザが立ち上がるときに座面を上前方向に上昇させることによって、ユーザの体重心を座位状態から立位状態に近い状態になるまで腰部を押し上げる装置である。この装置により、高齢者や下肢障がい者など動作が不自由な人が立ち上がるときのサポートを機械的に行うことが可能となった。

ユーザは、立ち上がるときに介助者の手を借りなくても済むため気兼ねや遠慮などといった配慮が必要なくなり、これまで介助の手を借りずに立ち上がっていた人も通常よりも楽に立ち上がることができ、介助する側の人にとっては、人の身体を支えて持ち上げる立ち上がり補助の労力が必要なくなり、身体的負担を減らすことができる。

このように、起立補助椅子によってこれまでよりも楽に生活できるようになったが、椅子の動作時に不安があるという、ユーザからの声もある。これは、機械によって起立を補助するという目的の達成に主眼をおいて製品が開発された経緯から、ユーザの感覚的な面が置き去りにされてきたためと考えられる。

起立動作に関する先行の研究は、主にバイオメカニクス分野において起立動作の特性解析や負担の評価を目的に人を対象として行われてきた。また、ロボティクス分野において、起立補助装置の開発を目的に行われてきた。しかし、起立補助装置の動作と人の感覚面との対応というマン・マシンインタフェースの研究事例は少ない。このため産業分野ではこの課題に対し手探りで対応しているのが現状である。

[*1] 試験研究部
[*2] 岐阜県総合企画部研究開発課
[*3] 岐阜大学工学部人間情報システム工学科
[*4] 岐阜大学医学系研究科生理学分野

今、社会では人間中心のものづくりの必要性が求められており、人にとってよりよい環境を感覚面から再構築していく風潮にある。このような背景から、この課題は取り組むべきものであるといえる。そこで本研究では、起立補助椅子の動作とユーザの感覚面との対応を明らかにすることを目的とする。

2. 実験方法

2.1 方法

起立補助椅子の主たる機能は、座面を上昇させることにより腰部を上前方向に押し上げることである。起立補助椅子の特徴はここに集約されており、起立補助椅子の動作と人の感覚面との対応を明らかにするには、この機能と人の感覚面との対応を明らかにすることに等しいといえる。

現状の起立補助椅子は、ユーザの安全性を配慮して、座面の移動を十分にゆっくりとした速度で動かしている。それでも起立補助椅子の動作に不安を感じる理由としては、座面の移動軌跡が影響しているのはないかと考えられる。

そこで、座面の移動軌跡と人の感覚的な評価との対応について検討する。具体的な方法は、座面の移動軌跡をいくつか用意し、これらを被験者に提示して優劣を判断してもらう実験を行う。そして、ここで得られた結果と座面軌道との対応をみて、考察を行うこととする。

2.2 座面移動の軌跡

2.2.1 座面の初期・最終位置の定義

被験者に提示する座面移動の軌跡は、座面の初期位置と最終位置をむすぶ曲線であるため、初期位置と最終位置を定義しなければ決まらない。実験の目的を考慮すると、座面移動にあわせた人の姿勢変化が被験者毎に異なるのは望ましくない。

そこで、座面の初期位置と最終位置は、被験者の人体寸法から求めることとした。

2.2.2 移動軌跡のパターン

座面の初期位置と最終位置をむすぶ曲線が座面移動の軌跡であるが、これは無限に存在する。そこで、実験であたえるパターンが満たすべき条件として以下の2つを設けた。

- 曲線は連続であること
- 曲線は幾何的に定義できること

前者は、座面の移動に合わせて姿勢を変化させる被験者にとって不連続な変化は、とっさの対応を求められるため不快であると考えられるため設けた。後者は、提示するパターンに実験者の恣意性が入り込まないようにする目的で設けた。

これらの条件をみたすパターンとして、本実験では以下の5つのパターンを被験者に提示することにした。

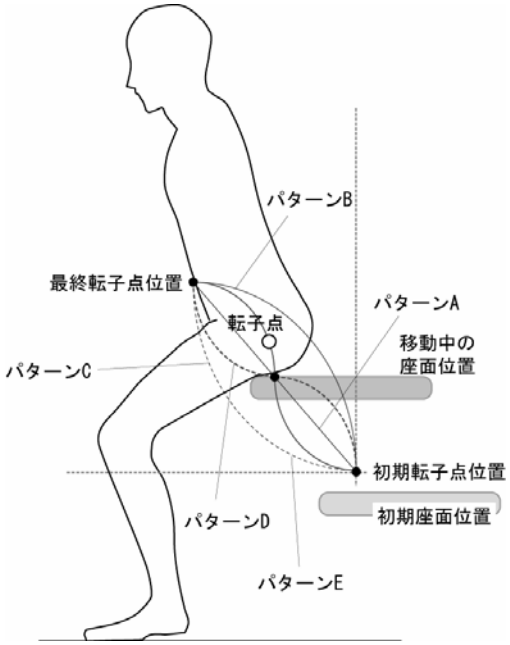


図1 座面移動パターン

パターンA

座面の初期位置と最終位置を直線で結ぶパターンである。最も単純な軌道であり、他のパターンと比較して座面の上昇軌道の長さは最も短い。

パターンB

座面の初期位置と最終位置が円周上に存在するようにしたパターンである。座面動作の前半期は上方向に移動し、動作の後半期は前方向に移動するパターンで、椅子側面から見たときは上に凸の曲線を描く。

パターンC

パターンBと同様に座面の初期位置と最終位置が円周上に存在するようにしたパターンであるが、椅子側面から見たときに下に凸の曲線を描く。

パターンD

パターンBとパターンCを組み合わせたパターンで、座面動作の前半では上に凸の曲線を描き、後半では下に凸の曲線を描く。

パターンE

パターンCとパターンBを組み合わせたパターンで、座面動作の前半では下に凸の曲線を描き、後半では上に凸の曲線を描く。

2.3 実験装置

座面軌道を任意に被験者に提示するために、図に示す装置で実験を行った。

この実験装置は座面を水平・垂直方向に独立に動かすことができ、それぞれ水平490 mm、垂直500 mmの可動域を有している。

アクチュエータは直動型ＤＣモータで、ＤＣモータはモータドライバ回路と連結されている。

アクチュエータの制御はＰＣで行い、ＰＣとモータドライバ回路はＤＡコンバータを介して連結されている。ＰＣから回転速度指令信号をＤＡコンバータを介してモータドライバ回路に出力すると、モータドライバ回路はＤＣモータに対して指令信号に比例した駆動電圧を出力する。これにより、座面の移動速度を制御することができる。

また、鉛直方向、水平方向にはそれぞれ直動型ポテンショメータが取り付けられており、ここから座面の移動量をＡＤコンバータを介してＰＣに取得する。

ＰＣでは、取得した座面の移動量を座面の位置に変換し、目標位置との偏差をフィードバックすることで制御している。これにより、実験装置は、座面の移動軌道を任意に被験者に提示することができる。

2.4 官能検査

被験者には5つの移動パターンのうちの2つを組にして被験者に提示して、どちらが優れているかについて評価してもらうことを10回繰り返すことで、移動軌跡間の優劣を明らかにする方法を採用する。

この方法は一対比較法と呼ばれ、評価の基準が明瞭でなく変動しやすいという特徴をもつ官能検査において、よく使われる方法である。これは、2つのものを比較する程度であるなら、被験者にとって判断しやすいことの他に、得られたデータを解析するうえで、提示条件間の差の判定、被験者の判断能力の判定、被験者間の評価基準の一致度の評価など、得られる情報が多いことによる。

なお実験では、どのパターンを提示するかを被験者には示さず、感覚のみの評価となるようにした。

加えて、座面が大腿部に触れるのを避けるため、座面に対して浅く腰掛けるようにした。これは、大腿部が押されることによる不快感や不安感をなくし、座面の移動が人の感覚面に及ぼす影響のみを評価するためである。また、実際の起立補助椅子の動作を考慮して、座面の移動速度は被験者にスピードを感じさせない程度に十分にゆっくりと動かした。そして、すべての移動パターンにおいて条件を一致させるため、移動が完了するまでの時間は一定とした。

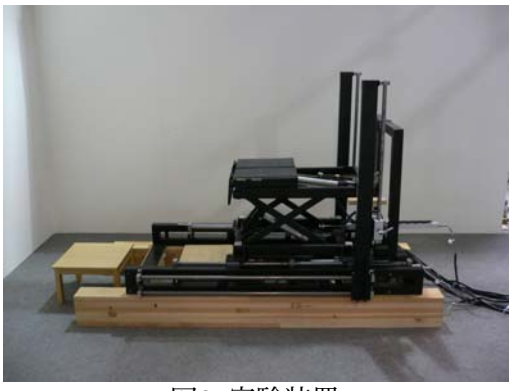


図2 実験装置

図3 官能検査実験

3. 結果

被験者は無作為に抽出し、官能検査の結果を一対比較法により解析し、一致性の係数ζを求め、各被験者の判断能力を検定した。係数ζが1であれば、その被験者には判断能力があると見なすことができる。このようにしてパターン間の差異を矛盾無く評価できる能力があると判断される被験者の回答を8組抽出し、これを座面の移動軌跡と心理評価との対応関係を示すデータとした（表1)。

表1の結果を、試験パターンの組み合わせごとの対応表にしたものが表2である。ここから実験データに対して、被験者相互間の判断の一致の度合いを検定した。その結果、被験者間の判断には5%の有意確率($F=15.556 \quad p<0.05$)で一致が見られた。

そこで、表2の結果に対してブラッドレーの方法を適用し、移動パターン間で差異が存在するかを検定した。その結果、5%の有意確率($F=4 \quad p<0.05$)で差異が見られた。

4. 考察

官能検査で得たデータを解析した結果、各パター

ンの差異を認識し優劣を矛盾なく評価できる被験者がいることから、移動パターンの違いによる人に及ぼす影響の差異はあることがわかる。また、被験者間での評価尺度に一致が見られたことから、人一般に共通する優劣の基準が存在し、それが不安感であると推察される。ここから、座面の移動パターンが及ぼす影響に対して、人は不安感により評価を行うと考えられる。

座面移動パターンの評点結果（図4）をみるとパターンAが最も評価が低い。パターンAに関しては、他のパターンと比較すると動作に変化がないため、いつどうなれば座面の移動が終わるのかが予測できず、座面移動にあわせて姿勢を調整するため、常に気を配っていなければならなかったという被験者の意見があった。ここから、起立補助椅子のユーザは、座面の移動の変化から補助動作の経過状態を推定するとともに以後の動作を予測し、次の行動に備えているものと考えられる。

パターンCとパターンDは比較的優れていると判断される傾向にあり、パターンBとパターンEは比較的劣っていると判断される傾向にある。前者は、座面移動の終了において座面が上方向に移動する動きで終了する点で共通する。後者は、座面移動の終了において座面が前方向に移動する動きで終了する点で共通する。このことから、起立補助椅子の不安感は座面がある程度の高さまで上昇したときの、座面の動く方向に影響を受けると推察される。そして、ユーザに不安感を与えない座面移動を行うには、起立補助椅子の座面の動きが上方向に押し上げる動きで完了することが重要であると考えられる。

5. まとめ

起立補助椅子における座面の移動軌道とユーザの感覚面の関係を調べたところ、座面の移動パターンが人に及ぼす影響には、人に共通した評価基準があり、これは不安感であると推察された。また、ユーザに不安感を与えない座面移動を行うには、起立補助椅子の座面の動きが上方向に押し上げる動きで完了することが重要であると考えられた。しかし、現在市場にある起立補助椅子の大多数は、座面が直線的に動くものか、座面が上に凸の軌跡を描きながら動くものがおおく、このような動きになっていない。この点は、ユーザの不安感を少なくし、満足度を高めためにも、早期の解決が望まれる。

なお現時点では、何故不安感が座面軌道によって変化するのかはよくわかっていない。今後の研究でこれが明らかになれば、起立補助椅子の開発に役立つもの考えられる。

表1 官能検査の結果

	提示したパターンの組み合わせ										ξ
	A－B	A－C	A－D	A－E	B－C	B－D	B－E	C－D	C－E	D－E	
Sample 1	○	×	○	○	×	×	×	○	○	×	1
Sample 2	○	×	×	○	×	×	×	○	○	○	1
Sample 3	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	1
Sample 4	○	×	×	×	×	×	×	○	○	○	1
Sample 5	×	×	×	×	○	○	×	×	×	×	1
Sample 6	×	×	×	×	○	×	×	×	×	×	1
Sample 7	×	×	×	×	○	×	×	×	×	○	1
Sample 8	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○	1

※　A-Bの組み合わせで、○ならA、×ならBが選択されたことを示す。

表2 座面移動パターンの評価結果

		座面移動パターン					評点
		A	B	C	D	E	
座面移動パターン	A		3	0	1	4	8
	B	5		3	3	2	13
	C	8	5		5	6	24
	D	7	5	3		6	21
	E	4	6	2	2		14

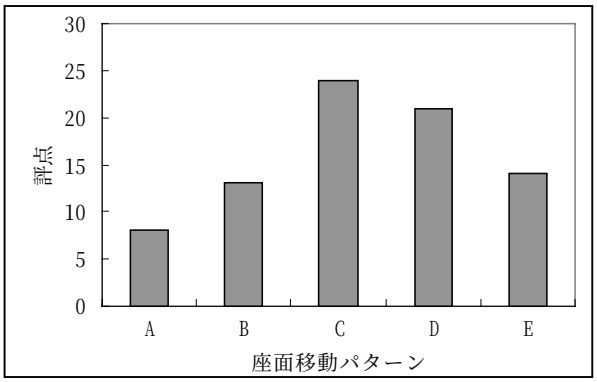


図4 座面移動パターンの評点

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付記する。

文献

1) 生命工学工業技術研究所(編)：設計のための人体計測マニュアル，日本出版サービス，1994.
2) 日科技連官能検査委員会(編)：新版官能検査ハンドブック，日科技連出版社，1973.

上肢支援型起立動作補助装置の開発（第3報）
着座姿勢における大腿裏への圧力が表面血流に与える影響

安藤 敏弘[*1]、藤巻 吾朗[*2]

Development of assist machine for the motion of standing up using human's upperarm power (III)
Effect of Pressure on the Surface Blood Circulation in Posterior Femoral Region of Sitting Posture

Toshihiro ANDO[*1], Goroh FUJIMAKI[*2]

むくみ予防や褥瘡予防を考慮した椅子設計の基礎的知見を得ることを目的とし、着座姿勢における大腿裏への圧力が表面血流に与える影響について検討した。その結果、大腿裏への圧力が表面血流に影響を与えることを実験的に示すことができた。また与える影響の大きさを推測することができた。今後これらの結果を元に、むくみ予防や褥瘡予防を考慮した椅子設計に活用していく予定である。

1. 緒言

座位姿勢時において、足が床面に届かず座面前縁により吊り下げられる場合、大腿裏には座面前縁による高い圧力がかかる。座面圧力分布の一例を、板座とクッション座の場合について図1に示す。なお図は、色が濃くなるほど圧力が高いことを示している。図1より板座の場合で約150 mmHg（20 kPa）、クッション座の場合でも約97.5 mmHg（13 kPa）もの高い圧力がかかっていることが分かる。人体の毛細血管内圧は細動脈端でおよそ30 mmHg（4 kPa）、細動脈血管内圧は中動脈端でおよそ85 mmHg（11.3 kPa）である[1)]。これらの血管内圧を越えた圧力が加わると、毛細血管や細動脈血管が閉塞し血行が阻害されることになる。大腿裏の血行阻害は、むくみの進行に繋がるため、望ましいことではない[2)]。また継続した圧迫は褥瘡のリスクを負うことにもなる。これまで圧迫と血流の関係について、褥瘡予防に着目し仙骨部で測定した例は見られるが、座位姿勢に着目し、大腿裏で測定した例は見られない[3)]。

以上を受け、本研究ではむくみ予防や褥瘡予防を考慮した椅子設計の基礎的知見を得ることを目的とし、着座姿勢における大腿裏への圧力が表面血流に与える影響について検討したのでここに報告する。

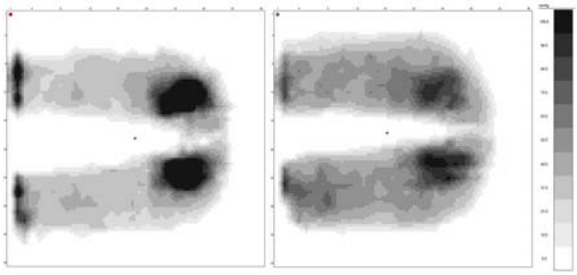


図1 板座とクッション座の圧力分布

2. 実験方法

2.1 実験条件

実験は、一般的なダイニングチェア（CH51 Carl Hansen & Son Inc.（Denmark））に着座して行った。通常の着座姿勢時に、大腿裏が座面前縁と接触すると予想される位置に、任意の圧力を与えるため、椅子の背に約5 cmのクッションを挟み込むことで、座の奥行きを調整した。圧力は、アルミ材で組み上げた機材にブナ材（縦30 mm×横450 mm）を固定し、シャフトを回転させることで調整した。条件は、圧力3水準（5 kPa（37.5 mmHg）、10 kPa（75 mmHg）、15 kPa（112.5 mmHg））を設定した。なお

[*1] 機械材料研究所
[*2] 試験研究部（シミュレーション研究室）

座面高は、圧力0kPa（与えない）時に座面前縁により大腿裏が圧力を受けないよう、被験者ごとに調整した。実験機材を図2に示す。

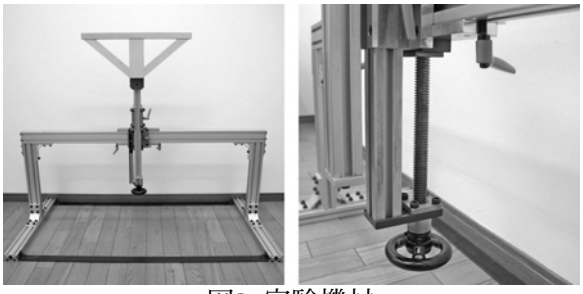


図2 実験機材

2.2 表面血流の測定

各条件が圧力部表面組織の血行動態に与える影響を検討した。測定には接触圧・血流センサ（A0001T エイエムアイ・テクノ社）を用い、接触圧と血行動態をそれぞれの測定器にて計測した。接触圧は、エアパック式接触圧測定器（AMI-3037 5S エイエムアイ・テクノ社）を用い、圧力（kPa）を計測した。血行動態は、波長780 nmのレーザー組織血流計（FLO-C1 オメガウェーブ社）を用い、組織血流量（Flow）、組織血液量（Mass）、血流速度（Velocity）を計測した。これら得られたデータはデータロガーにて、サンプリング周波数1 Hzで同時に且つ連続的に計測した。測定部位は両脚大腿裏とし、表層から約1 mmを計測した。測定部位と測定器具を図3に示す。

被験者は20代～30代の健常な男性6名を対象とした。被験者の身体特性について表1に示す。実験は各条件2分間行い、各条件間には状態をリセットする目的で、インターバル5分間（圧力0kPa）を設定した。実験条件の順序は、被験者ごとにランダムとした。これを1回の実験とし、各被験者が左右肢ごと2回ずつ行なったので、計24肢のデータを解析に用いた。また被験者には実験をとおして安静状態をお願いした。実験環境は室温25度、湿度40%であった（2009年2月）。実験の様子を図4に示す。

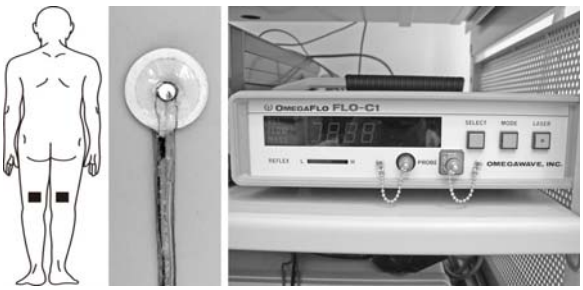


図3 測定部位と測定器具

表1 被験者の身体特性

No.	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)	BMI
S1	33	161.6	55.3	21.18
S2	32	176.0	60.0	19.37
S3	26	172.9	50.6	16.93
S4	36	165.2	67.6	24.77
S5	32	178.6	78.0	24.45
S6	36	172.0	63.9	21.60
平均	32.5	171.05	62.57	21.38

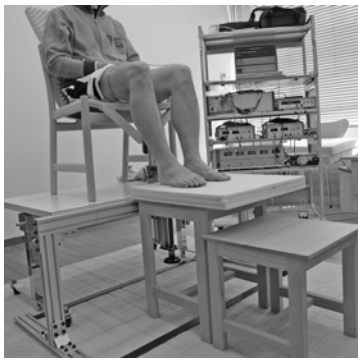


図4 実験の様子

3. 結果と考察

3.1 圧力の測定

各条件の圧力を与えた際、圧力の経時変化が見られた。これは大腿裏が軟組織であるために発生したと考えられる。そこで実験時には設定した条件より0.3 kPa程度強めの圧力を加えている。計測された各条件の圧力平均値±標準偏差を図5に示す。図5より各条件に設定した圧力値と計測値には若干の誤差はあるが、実験条件には影響がなかったと考えられる。

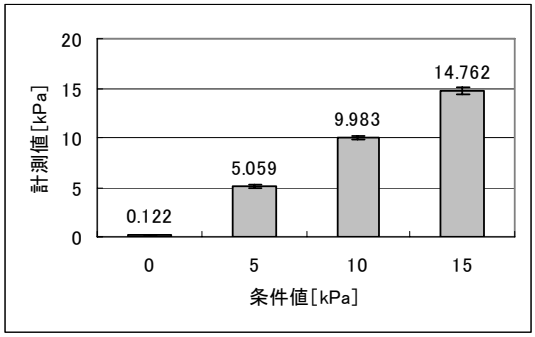


図5 各条件の圧力平均計測値

3.2 表面血流の測定

各条件変更後60秒～120秒の組織血流量、組織血液量、血流速度の区間平均値を算出した。また圧力0 kPaの値は、1回の実験中に2回あるインターバ

ル5分間のそれぞれ240秒～300秒のデータを使用し、区間平均値を算出した。算出したデータは個人差を除去するため被験者ごと実験回数ごとに標準化し、圧力を要因とする一元配置分散分析を行った。その結果、圧力の要因の主効果が有意であった（組織血流量：F=128.563 p<0.01、組織血液量：F=69.971 p<0.01、血流速度：F=22.439 p<0.01）。この結果は、圧力が大腿裏の組織血流量、組織血液量、血流速度に影響を与えたことを示している。

ここで組織血流量の変化の平均値±標準偏差について図6に、組織血液量の変化の平均値±標準偏差について図7に、血流速度の変化の平均値±標準偏差について図8にそれぞれ示す。なお組織血流量および組織血液量については、多重比較の結果、圧力0 kPaと10 kPa以外の全ての組合せで有意差が認められた（P<0.01）。血流速度については、圧力5 kPaと、圧力0 kPa、10 kPa、15 kPaとの間に有意差が認められた（P<0.01）。

図6、7、8より組織血流量、組織血液量、血流速度のすべてにおいて圧力5 kPaで最大値を示し、圧力が増加するほど減少している。しかし図6より、圧力が5 kPaの場合、毛細血管内圧を超える圧力であるため血行阻害が発生すると考えられるが、組織血流量が増加している。これは図7より組織血液量が増加していることから、圧力が加わることにより測定部位が増加し、細動静脈を含む組織を測定しているためと推察された。また図8より血流速度の増加が見られる。毛細血管の血流速度はおよそ1 mm/sec、細静脈でおよそ2.5 mm/sec、細動脈でおよそ5 mm/secである[1)]。このように毛細血管と比較して細動静脈の方が血流速度は速いことからも、圧力により深部組織を測定していることが推察された。

これらのことから、大腿裏の圧力が増加するほど血行阻害への影響が大きくなることが推察された。

4. まとめ

本研究ではむくみ予防や褥瘡予防を考慮した椅子設計の基礎的知見を得ることを目的とし、着座姿勢における大腿裏への圧迫が表面血流に与える影響について検討した。その結果、大腿裏への圧力が表面血流に影響を与えることを実験的に示すことができた。また与える影響の大きさを推測することができた。今後これらの結果を元に、むくみ予防や褥瘡予防を考慮した椅子設計に活用していく予定である。

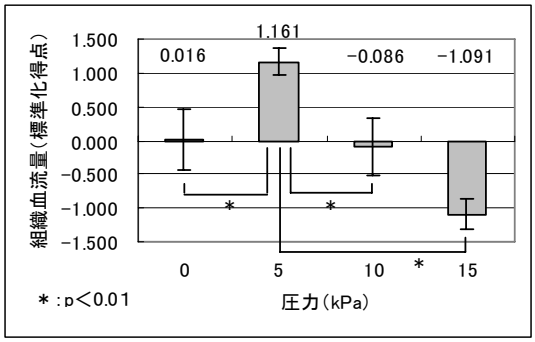


図6 組織血流量の変化

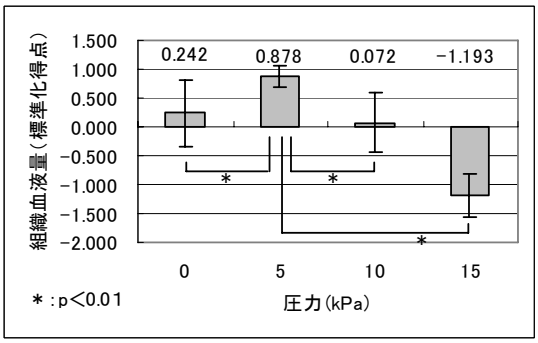


図7 組織血液量の変化

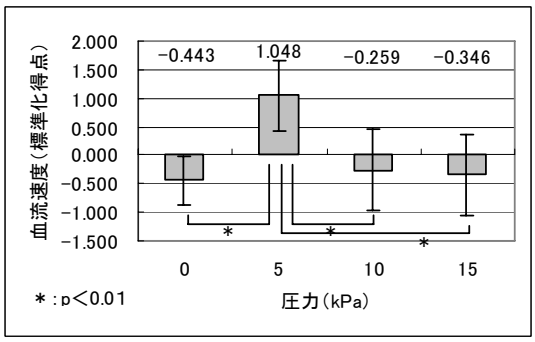


図8 血流速度の変化

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付記する。

文献

1) 本郷利憲他：標準生理学，9章 循環，2005.
2) D.L.van Deursen,et al : Effect of continuous rotary seat pan movements on physiological oedema of the lower extremities during prolonged sitting, International Journal of Industrial Ergonomics, 26(5), pp.521-526 (2000).
3) 川村えりら：仙骨部における接触圧と血流量の変化に関する基礎的研究，日本褥瘡学会機関紙，Vol.4，No.2，p274，2002.

〔技術レポート〕

顔型グラフによる体圧分布の時間的変化

三家 礼子[*1]、成瀬 哲哉[*2]、岸 信介[*3]、田村 義保[*4]

Temporal Changes in Body Pressure Distribution by Face Graph

Reiko MITSUYA[*1], Tetsuya NARUSE[*2]
Shinsuke KISHI[*3], Yoshiyasu TAMURA[*4]

1. はじめに

人間は複雑なデータを理解する場合、数字や表の羅列よりもグラフィカルに統合されたものが理解しやすい。特に人間は「顔の表情」に対しては高い認識能力を持っており、「顔の表情」を構成する多様なパーツの変化から印象を読み取ることが出来る。「チャーノフの顔グラフ」は、人間の高い認識能力を活用するため、複雑な評価データを顔のパーツに割り振り、データの変化をパーツ形状の変化に置き換え「顔の表情」を出力する方法である。

昨年度の研究結果から、顔型グラフによる多変量データの視覚化の有用性を得ることができた。本年度は引き続き顔型グラフを用いて、ある物理測定の結果得られる多変量データの時間的変化を可視化することを本研究の目的とする。本研究で行った物理測定は体圧分布測定であり、実験の対象は木製椅子とする。

2. 体圧分布測定による実験

2.1 被験者

被験者は心身共に健康な男性3名、女性2名、被験者の身体データを表1に示す。

表 1 被験者の身体データ

被験者	01	02	03	04	05
身長(cm)	180	180	162	173.2	157.5
体重(kg)	110	60	57	50.3	40
年齢(歳)	34	18	24	26	28
性別	男性	男性	女性	男性	女性
座高(cm)	98.1	95	88.5	93.5	85
下腿高(cm)	40.1	41.6	39.6	44	38.9
上腿長(cm)	47.7	47.5	46.5	48	41.3
座位肩峰高(cm)	65	64.3	57.5	61	57

2.2 実験機材

X-sensor Pressure Mapping System v4.3 Industrial、デジタルカメラ、マルチン式計測器、体重計を用い体圧分布測定、身体計測、実験記録を行った。

2.3 実験に用いた椅子

市販されている一般的なダイニングチェア3脚を用いた（図1）。

図 1 実験に用いた椅子

2.4 実験手順

2.4.1 人体計測

体圧分布測定前に被験者の身長、体重、座高、下腿高、上腿長、座位肩峰高の計測および年齢、

[*1]早稲田大学国際情報通信研究センター
[*2]生活技術研究所、[*3]早稲田大学、[*4]統計数理研究所

性別の記録を行った。

2.4.2 実験前の各椅子の官能評価

被験者は体圧分布測定前に1分ほど着座して表2の評価項目に関して各椅子の5段階評価を行った。官能評価項目を表2に示す。

表 2 官能評価項目

座面全体の座り心地	座面の高さ
座面全体の硬さ	座面の幅
坐骨結節付近の座り心地	座面の奥行き
坐骨結節付近の硬さ	背もたれの高さ
太もも裏付近座り心地	背もたれの上下幅
太もも裏付近の硬さ	背もたれの横幅

2.4.3 体圧分布測定

被験者はいずれかの椅子に30分間着座しDVD視聴を行った。その際、体は自由に動かしてかまわないが、着座状態を放棄しないよう教示した。この状態をX-sensor座面パッド一枚で座面のみ体圧分布測定を行った。実験風景を図2に示す。

なお、被験者は1脚の実験終了後100分以上の休憩を取り被験者の自己申告により疲れが無い場合のみ、別の椅子に着座し実験を再開した。

図 2 実験風景

実験者は被験者が足を動かすなどの姿勢変化があった場合、姿勢変化の原因箇所（坐骨結節、大腿部、膝下、腿部、腰部、背中、肩、首、その他）、症状（不快感、違和感、痛み、疲れ、痺れ、蒸れ、圧迫、その他）に関して随時聞き取り調査を行った。

2.4.4 実験後の各椅子の官能評価

被験者は体圧分布測定後（30分着座後）に表3の項目に関して各椅子の5段階評価を行った。官能評価項目を表3に示す

表 3 官能評価項目

座面全体の座り心地	坐骨結節付近の硬さ
座面全体の硬さ	太もも裏付近座り心地
坐骨結節付近の座り心地	太もも裏付近の硬さ

3. 結果

X-sensorによる測定で得られた結果を被験者1の例で図3～5に示す。

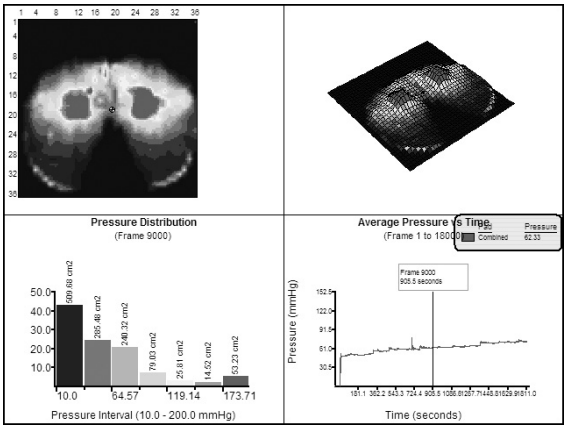


図 3 被験者 1 の椅子 A の体圧分布

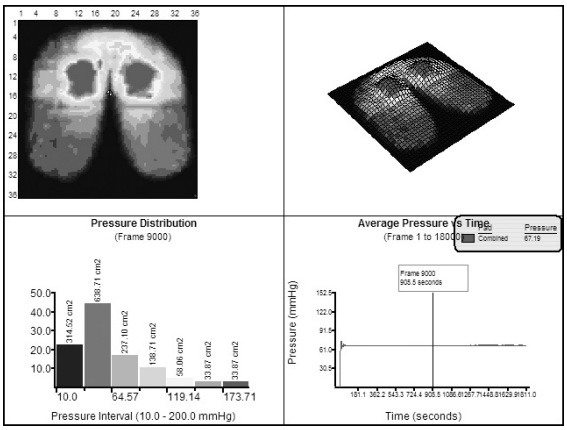


図 4 被験者 1 の椅子 B の体圧分布

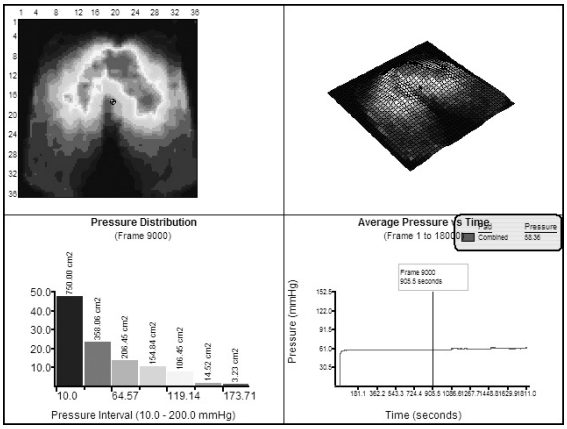


図 5 被験者 1 の椅子 C の体圧分布

4. 顔型グラフのよる体圧分布の時間的変化

顔型グラフの変数の割り当ては、変数の重要度に応じて眉の傾き、口の形、頭の離心率、ひとみの大きさ、目の間隔、鼻の大きさの順に、X-Sensorの測定結果から得られた平均圧力値、最大圧力値、接触面積、負荷、重心位置（X座標）、重心位置（Y座標）とした。時間変化における平均圧力値のグラフにその時点で作成された顔型グラフを表示したものを図6に示す。

5. 考察・まとめ

図6のグラフは一番時間的変化の少ない平均圧力値のグラフを示している。そこで、圧力値の変化に顔型グラフを用いることにより、より微小な時間変化での体圧測定値の変化を読み取ることが可能になる。また、顔型グラフのみの時間的変化の表示を動画で表示することもできた[1)]。今後、このシステムを多方面で活用する予定である。

謝辞

本研究は、統計数理研究所平成19年度一般研究1によるものである。本研究を進めるにあたって、実験にご協力いただいた飛騨国際工芸学園の皆様に感謝の意を表する。

文献

1) Clifford Pickover, Computers, Pattern, Chaos and Beauty, Dover Pubns, 2001.

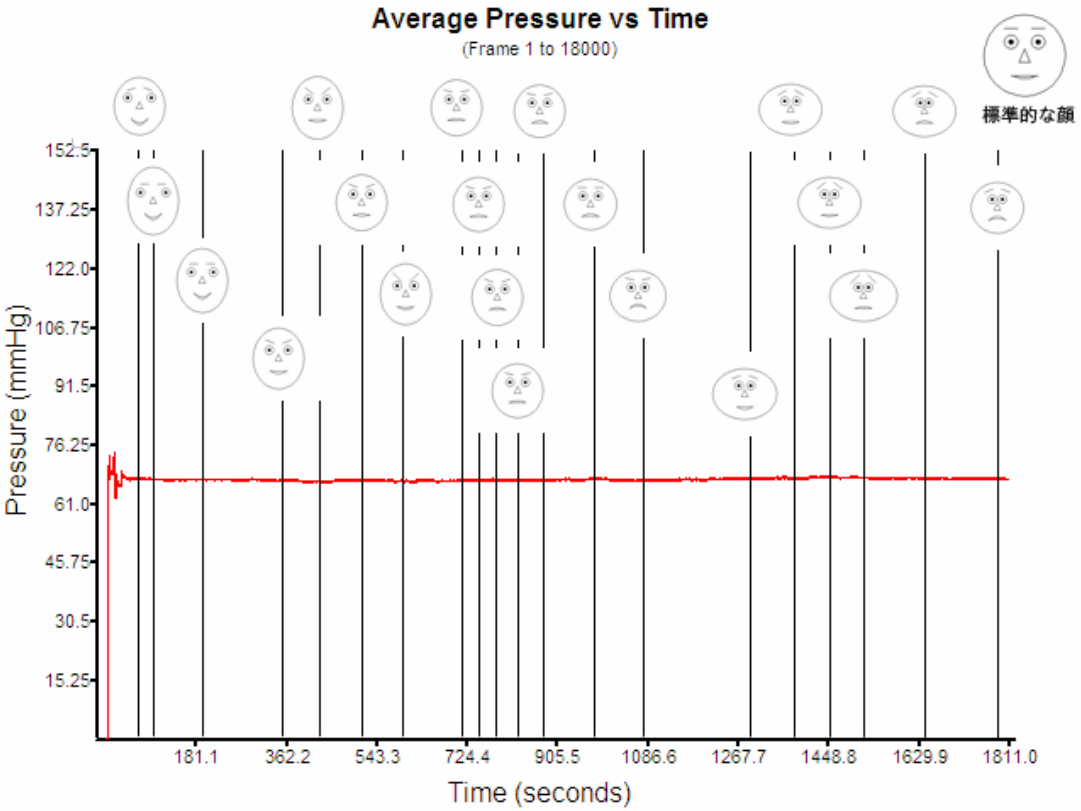


図 6 顔型グラフによる平均圧力値の時間的変化

〔技術レポート〕

休息用プロトタイプ椅子の評価

安藤 敏弘[*1]、藤巻 吾朗[*2]

Evaluation of a Prototype Chair for Rest

Toshihiro ANDO[*1], Goroh FUJIMAKI[*2]

設計指針による椅子を用いた長時間着座による検証を目的とし、休息用プロトタイプ椅子と一般的なダイニングチェアの評価を行った。以下に比較に用いたセブンチェアとの比較結果をまとめる。

1) 心電図計測結果より、休息性が高い。
2) 終末呼気炭酸ガス濃度計測結果より、代謝が高い。
3) 下肢のむくみ計測結果より、下肢がむくみにくい。

今回比較に用いた椅子は用途が異なるため、違いも明確になりやすいことが考えられる。また、実験時間の長さや被験者の負担を考慮したため、設計指針導出時の評価とは、単純に比較はできない。しかしそれぞれの椅子の用途別の特徴については、整合性がとれていると考えられる。今後は同じ用途である休息用椅子との比較を行うことにより、休息用プロトタイプ椅子の優位性を検討していきたい。

1. 緒言

昨年度までの研究課題である「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」の中で休息用プロトタイプ椅子の設計指針を導出し、実際に椅子を製作した[1)]。休息用プロトタイプ椅子の寸法値を図1に示す。この椅子は下肢の血行動態、首の筋活動、圧力中心の移動量、主観評価のそれぞれの観点から角度条件が導出されている。さらに着座姿勢の背面形状から、骨盤部と胸部を支持する曲線を導出している。しかし導出するために行った実験では3分間という短時間着座での評価であったため、長時間着座ではどの様な評価がされるかは行っていない。

以上を受け、本研究では設計指針による椅子を用いた長時間着座による検証を目的とし、休息用プロトタイプ椅子と一般的なダイニングチェアの評価を行ったのでここに報告する。

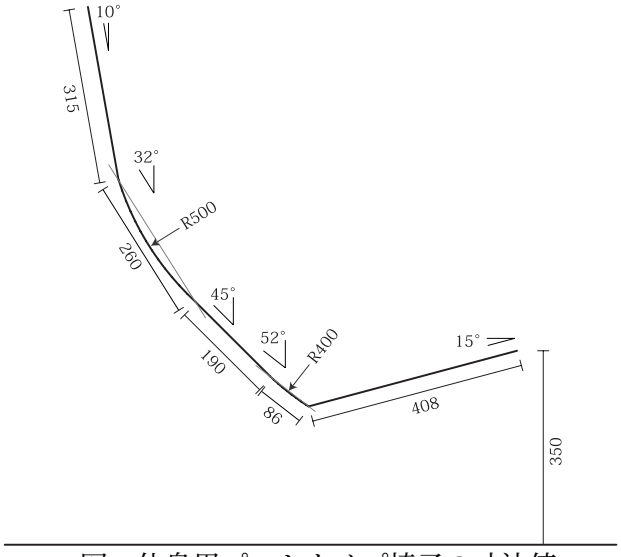


図1 休息用プロトタイプ椅子の寸法値

2. 実験方法

実験には製作した休息用プロトタイプ椅子と、比較用に一般的なダイニングチェア（Seven Chair Fritz Hansen.（Denmark））の2脚を用いた。実験に

[*1] 機械材料研究所
[*2] 試験研究部（シミュレーション研究室）

用いた椅子を図2に示す。

被験者は20代～30代の健常な男女8名を対象とした。被験者の身体特性について表1に示す。実験は60分間で行った。また椅子の提示は被験者ごとにランダムとし、別の椅子の実験を行う際は別日に行い、その際には実験時間は被験者ごとに同じ時間帯で行った。なお被験者には実験中TV鑑賞を行ってもらった。着座中の動作制限は、足を組むことを制限し、あとは自由に動いて良いこととした。実験環境は室温25度、湿度40%であった（2009年1、2月）。各実験の詳細を次に示す。

2.1 基礎的な生体情報計測

各条件が基礎的な生体情報に与える影響を計測した。測定にはベッドサイドモニタ（BSM-9510 + AY-900P + TG-920P 日本光電）を用い、心電図（ECG）、終末呼気二酸化炭素濃度（$ETCO_2$）を計測した。なお心電図は、A/D変換器（AD Instruments , Australia、 MacLab/8s）にてサンプリング周波数1KHzで計測し、$ETCO_2$はパソコンにて直接3秒間隔で計測した。心電図と終末呼気二酸化炭素濃度の計測風景を図3に示す。

2.2 下肢のむくみ計測

各条件が下肢のむくみに与える影響を、生体電気インピーダンス法（Bio-electrical Impedance : BI法）にて検討した。測定には2.5～350 kHzの電流を140段階で身体に流すことのできる、4電極法による多周波数方式体脂肪計（MLT-30 積水化学工業）を用いた。この機材は周波数0の時の理想状態でのインピーダンス（R0）を推定できるものであり、この値の逆数（1/R0）から、測定部位の体積を推定できるとされている。また得られた結果の妥当性も検証されている[2)]。これを用い実験中10分毎に下肢のむくみを計測した。実験に用いた機材と電極貼付位置を図4に示す。また被験者には実験前にむくみの除去を目的に、20分間背臥位姿勢を行ってもらい、20分経過時点での下肢のむくみを計測した。

3. 結果と考察

3.1 基礎的な生体情報計測

3.1.1 心電図

得られた心拍のR-R間隔を用い周波数解析を行った。実験中10分間ごとに、低域周波数帯成分のパワー（LF：Low Frequency component power 0.04～0.15 Hz）と高域周波数帯成分のパワー（HF：High Frequency component power 0.15～0.4 Hz）、および全域周波数帯成分のパワー（TP：Total frequency component Power）を算出した。

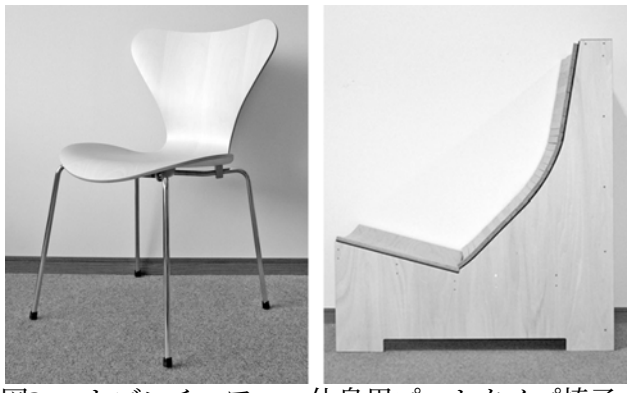


図2　セブンチェア　　休息用プロトタイプ椅子

表2 被験者の身体特性

No.	年齢（歳）	身長（cm）	体重（kg）	BMI	性別
S1	33	161.6	55.3	21.18	男性
S2	26	172.9	50.6	16.93	男性
S3	32	178.6	78.0	24.45	男性
S4	36	165.2	67.6	24.77	男性
S5	39	165.6	68.9	25.12	男性
S6	29	157.3	43.2	17.46	女性
S7	24	161.7	58.9	22.53	女性
S8	34	171.4	53.1	18.07	女性
平均	31.6	166.8	59.5	21.31	

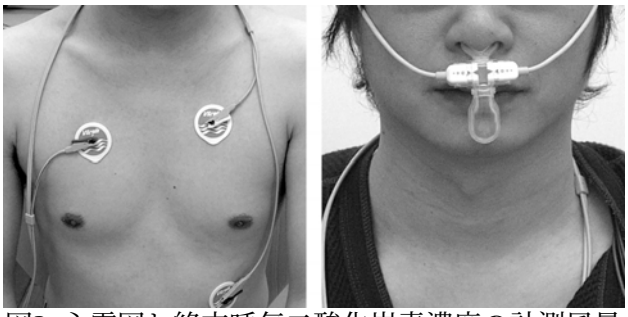


図3 心電図と終末呼気二酸化炭素濃度の計測風景

図4 下肢のむくみ計測機材と電極貼付位置

一般的にLFは交感神経活動と副交感神経活動による影響を受け、HFは副交感神経による影響を受けると考えられている。そこでLF/HFを交感神経活動の、HF/TPを副交感神経活動の、それぞれ指標として用いた。

（1）交感神経活動

実験中10分間ごとにLF/HFを算出し、椅子と時間を要因とする二元配置分散分析を行った。その結果、椅子の要因の主効果が有意であった（F=5.620 p=0.05）。この結果は、椅子が交感神経活動に影響を与えたことを示している。ここで分散分析に用いたLF/HF平均値±標準偏差を図5に示す。図5よりセブンチェアは休息用プロトタイプ椅子より、交感神経活動が高いことが分かる。このことからセブンチェアは休息用プロトタイプ椅子より、緊張状態であると推察された。

（2）副交感神経活動

実験中10分間ごとにHF/TPを算出し、椅子と時間を要因とする二元配置分散分析を行った。その結果、椅子と時間の各要因の主効果が有意であった（椅子：F=5.713 p<0.05、時間：F=2.590 p<0.05）。この結果は、椅子と時間が、副交感神経に影響を与えたことを示している。ここで分散分析に用いたHF/TP平均値±標準偏差を図6に示す。図6より休息用プロトタイプ椅子は、セブンチェアより、副交感神経活動が高いことが分かる。また、両椅子とも、時間と共に副交感神経活動が抑制されていることが分かる。このことから、休息用プロトタイプ椅子はセブンチェアより、リラックス状態であると推察された。また両椅子とも、時間と共にリラックス状態が減少していくと推察された。

以上（1）、（2）より、休息用プロトタイプ椅子は、セブンチェアより休息性が高いと推察された。また両椅子とも座った直後が最もリラックス状態であり、徐々に緊張した状態になると推察された。

3.1.2 終末呼気二酸化炭素濃度

実験中10分間ごとに$ETCO_2$の区間平均を算出し、椅子と時間を要因とする二元配置分散分析を行った。その結果、椅子と時間の各要因の主効果が有意であった（椅子：F=12.354 p=0.01、時間：F=3.703 p<0.01）。また椅子と時間の交互作用が認められた（F=6.444 p<0.01）。この結果は、椅子と時間が、$ETCO_2$に影響を与えたことを示している。また椅子により$ETCO_2$の経時変化が異なることを示している。ここで分散分析に用いた$ETCO_2$平均値±標準偏差を図7に示す。図7より休息用プロトタイプ椅子はセブンチェアより、$ETCO_2$が高いことが分かる。またセブンチェアは、時間と共に$ETCO_2$が低下していることが分かる。このことから、休息用プロト

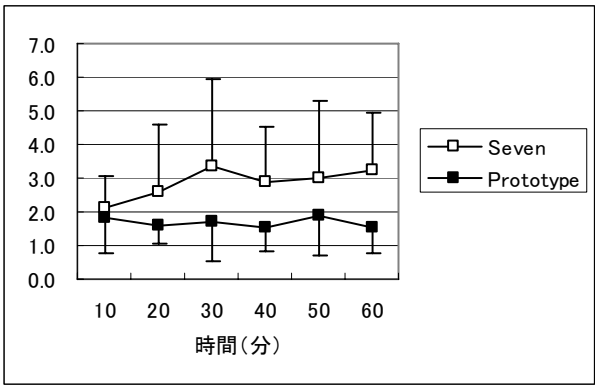


図5 LF/HFの経時変化

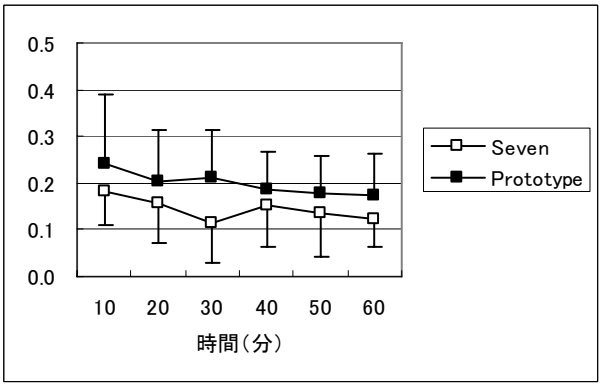


図6 HF/TPの経時変化

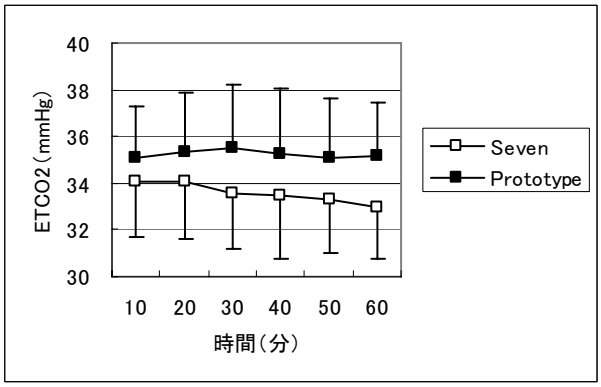


図7 終末呼気炭酸ガス濃度の経時変化

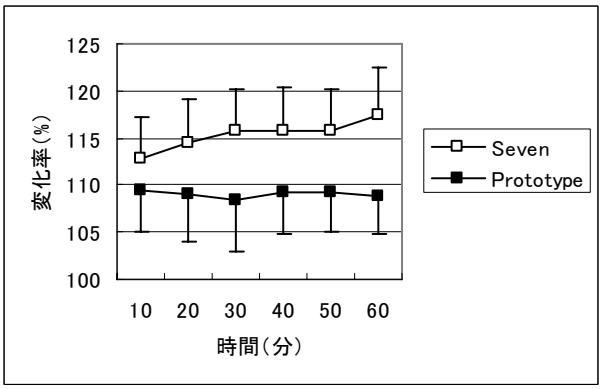


図8 下肢のむくみの経時変化

タイプ椅子は、セブンチェアより代謝が高いと推察された。またセブンチェアは時間と共により代謝が低下していくと推察された。

3.2 下肢のむくみ

実験中10分間ごとに計測したR0より、逆数である1/R0を算出し､椅子と時間を要因とする二元配置分散分析を行った。その結果、椅子の要因の主効果が有意であった（椅子：$F=11.864$ $p<0.05$）。また椅子と時間の交互作用が認められた（$F=3.508$ $p<0.05$）。この結果は、椅子が下肢のむくみに影響を与えたことを示している。ここで実験前に計測した値を基準とした変化率の平均値±標準偏差を図8に示す。図8よりセブンチェアは休息用プロトタイプ椅子より、下肢のむくみが大きいことが分かる。これは下肢のむくみが着座姿勢時の心臓高さによる静水圧の影響を受けるためと考えられる。セブンチェアは、時間と共に下肢のむくみが進行しているが、休息用プロトタイプ椅子では、時間が経過しても下肢のむくみには変化がないことが分かる。このことから、休息用プロトタイプ椅子は、長時間着座でも下肢がむくみにくいことが推察された。

4. まとめ

本研究では設計指針による椅子を用いた長時間着座による検証を目的とし、休息用プロトタイプ椅子と一般的なダイニングチェアの評価を行った。以下に比較に用いたセブンチェアとの比較結果をまとめる。

1) 心電図計測結果より、休息性が高い。
2) 終末呼気炭酸ガス濃度計測結果より、代謝が高い。
3) 下肢のむくみ計測結果より、下肢がむくみにくい。

今回比較に用いた椅子は用途が異なるため、違いも明確になりやすいことが考えられる。また実験時間の長さや被験者の負担を考慮したため、設計指針導出時の評価とは、単純に比較はできない。しかしそれぞれの椅子の用途別の特徴については、整合性がとれていると考えられる。今後は同じ用途である休息用椅子との比較を行うことにより、休息用プロトタイプ椅子の優位性を検討していきたい。

文献

1) 藤巻吾朗ら：岐阜県生活技術研究所研究報告，No.9，pp.12-29，2007.
2) 川上慶他：女性のVDT作業姿勢に対応したむくみ軽減オフィスチェア，人間工学，Vol.43，No.5，pp.252-260，2007.