

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14報） 椅子角度が足のむくみに与える影響

安藤 敏弘^{*1}、藤巻 吾朗^{*1}、成瀬 哲哉^{*1}、坂東 直行^{*1}、堀部 哲^{*2}

Research on Comfort Evaluation and Function Design of Wooden Chair
by Ergonomic Technique (XIV)
Effect of Chair Angle on the Swelling of Foot

Toshihiro ANDO^{*1}, Goroh FUJIMAKI^{*1}, Tetsuya NARUSE^{*1}, Naoyuki BANDO^{*1} and Satoshi HORIBE^{*2}

むくみ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、椅子角度が足のむくみに与える影響の大きさについて検討した。足のむくみにおける生理学的メカニズムのとり、心臓からの高低差および椅子角度による圧力が足のむくみ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。さらに座面角度が0度の条件に限定した場合ではあるが、高低差と大腿部裏側の圧力によるモデル化をすることができた。今後これらの結果を元に、足のむくみを考慮した椅子設計に活用していく予定である。

1. 緒言

長時間座位姿勢を継続することにより、下肢や足にむくみ（浮腫）が発生する。これは下肢や足の組織間隙に水分が貯留した状態のことであり、

水分供給の亢進、水分回収の低下の2つの要因の内、かつ、またはが生じることにより発生すると考えられている¹⁾。組織間隙の水分量は毛細血管の濾過 - 再吸収量と、リンパ系を通じた排出量のバランスで定まる。つまり濾過の増大による水分供給の亢進、再吸収の減少やリンパ系での排出量の低下による水分回収の低下、が生じることにより、むくみが発生することになる。また上記のバランスが崩れることにより、むくみが進行すると考えられる。むくみの進行は不快感を伴い、さらには深部静脈血栓症（deep vein thrombosis : DVT）を引き起こす原因にもなる。

以上を受け、本研究ではむくみ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、

椅子角度が足のむくみに与える影響について検討したのでここに報告する。

2. 生理学的メカニズム

2.1 水分供給の亢進

体内の動静脈は、その姿勢に応じて心臓からの高さに等しい静水圧の影響を受けている。そのため座位姿勢を背臥位姿勢と比較すると、静水圧差が上昇することにより静脈圧が上昇し、毛細血管内圧も上昇する。これにより血管からの水分濾過を亢進することになり、水分供給の亢進が起こり、むくみが発生する。

2.2 水分回収の低下

座位姿勢は、静水圧の影響や筋ポンプ作用が有効に働かないなどの影響を受ける。さらに足が床面に届かず座面前縁により吊り下げられる場合、大腿静脈が圧迫により狭くなる²⁾。これらにより、静脈環流が低下し、再吸収の減少に繋がる。またリンパ循環も同様に静水圧と筋ポンプ作用の影響を受け、排出量の低下に繋がる。これらにより水分回収の低下が起こり、むくみが発生する。

^{*1} 試験研究部（シミュレーション研究室）

^{*2} 総合企画部研究開発課

2.3 組織間隙の水分量のバランス

背臥位姿勢では静水圧の影響はない。そのため組織間隙の水分量はバランスがとれているため、足にむくみが発生することはないと考えられる。通常、毛細血管の濾過量は再吸収量より多いが、リンパ管による排出が加わることにより、バランスが保たれている。しかし姿勢変化による静水圧の影響により、そのバランスが崩れることになり、むくみが進行することになる。つまり静水圧の影響の大きさがむくみの進行スピードに影響を与えると考えられる。

2.4 姿勢による体液分布の変化

上記では姿勢による、むくみの進行について述べたが、むくみには姿勢による体液分布の変化によるものもある。つまり背臥位姿勢と座位姿勢では、静水圧による体液移動および下肢や足の静脈壁伸展による血液の貯留から、各部位での周長は増加すると考えられる。したがって姿勢変化後の短時間によるむくみの進行は体液分布の変化によるものであり、ある一定の周長変化後にそれ以上のむくみの進行がみられない場合は、組織間隙の水分量のバランスがとれている状態であると考えられる。また逆にむくみの進行がみられる場合は、組織間隙の水分量のバランスがとれていない状態であると考えられる。

以上のことをふまえ、重力および椅子角度が足のむくみに与える影響と、椅子角度が大腿部裏側の圧力に与える影響について検討することにより、足のむくみに関するモデル化を検討した。

3. 方法

生理的負担の指標として、水銀封入式のラバーストレンゲージを用いてむくみを測定した。また、エアパックを用いて圧迫力を計測した。実験条件は、重力の影響、椅子角度の影響の2つとした。被験者は20～30代の健常な男女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。また各実験の詳細を次に示す。

3.1 足のむくみの測定

各条件が足のむくみに与える影響を、水銀封入式のラバーストレンゲージにて測定した。測定器はストレンゲージ/フォトプレチスモグラフ (EC6 D.E.Hokanson, Inc.(USA)) を用い、ラバーストレンゲージの変化量 (%) をサンプリング周波数1Hzで連続的に測定した。測定部位は両足甲周とした。測定器具と測定部位を図1に示す。

3.2 大腿部裏側の圧力の測定

各条件が大腿部裏側の圧力に与える影響を、エ

表1 被験者の身体特性

	平均	標準偏差
年齢(歳)	30.50	1.871
身長(mm)	1639.2	124.2
体重(kg)	56.50	13.20
BMI	20.82	3.01
胸骨下縁高(mm)	1146.5	84.23
臍子高(mm)	812.0	70.26
脛骨上縁高(mm)	444.2	45.92

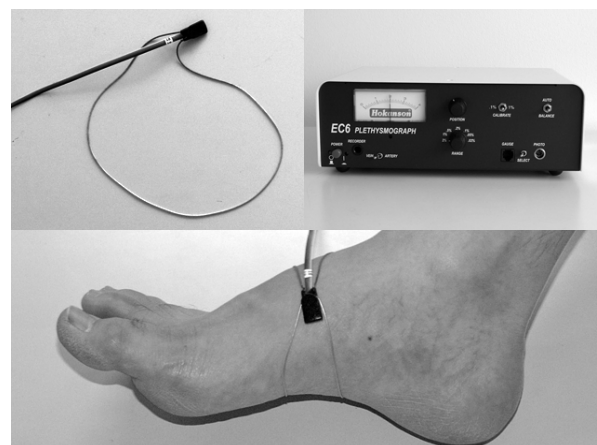
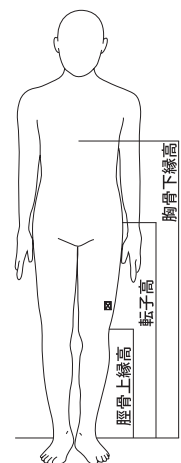


図1 測定部位と測定器具

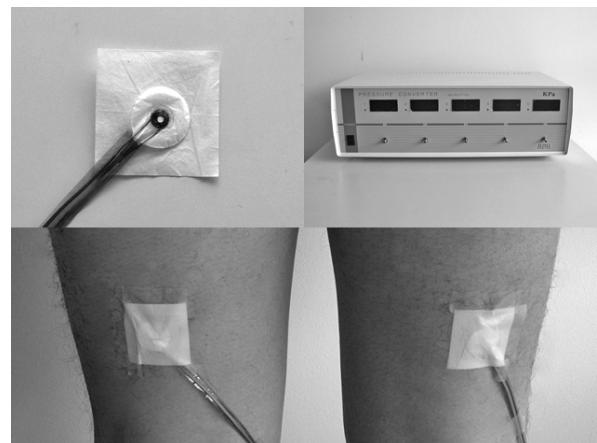


図2 測定部位と測定器具

エアパックにて測定した。測定器はエアパック式接触圧測定器 (AMI-3037 5S エイムアイ・テクノ社) とφ20のエアパックを用い、圧力 (kPa) を測定した。測定部位は両脚大腿部裏側とし、各条件における最頻値を代表値として記録した。測定器具と測定部位を図2に示す。

3.3 実験手順

3.3.1 重力が足のむくみに与える影響（実験1）

実験には傾斜ベッド（自作）を用いた。これはベッド角度を0度～30度まで、連続して変化させることができるベッドである。実験条件は、ベッド角度4条件（0度、10度、20度、30度）を設定した。傾斜ベッドを図3に示す。実験は各条件10分間ずつ連続して行い、各条件間には、状態をリセットする目的で、インターバル3分間（ベッド角度0度）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、各被験者が両足で1回ずつ行なったので、計12肢のデータを解析に用いた。また被験者には実験をとおり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（2007年1月、2月）。



図3 傾斜ベッド



図4 可動椅子

3.3.2 椅子角度が足のむくみに与える影響（実験2）

実験には背もたれとフットレスト角度が任意調節可能な可動椅子（自作）を用いた。これは背もたれとフットレスト角度が0度～90度まで連続し、かつそれぞれが独立して可動させることができる椅子である。なお椅子の奥行きは、被験者ごとに大腿の長さを考慮し調整した。可動椅子を図4に示す。実験条件は、背もたれ角度3水準（0度、45度、90度）、フットレスト角度3水準（0度、45度、90度）を組合せ、3×3の9条件を設定した。設定した実験条件を図5に示す。実験は各条件10分間ずつ連続して行い、各条件間には、状態をリセットする目的で、インターバル3分間（背もたれ角度0度、フットレスト角度0度）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、各被験者が両脚で1回ずつ行なったので、計12肢のデータを解析に用いた。また被験者には実験をとおり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（2007年1月、2月）。

3.3.3 椅子角度が大腿部裏側の圧力に与える影響（実験3）

実験条件は、実験2と同じとした。各被験者が両脚で1回行なったので、計12肢のデータを解析に用いた。また被験者には実験をとおり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（2007年3月）。

		背もたれ角度		
		0度	45度	90度
フットレスト角度	0度			
	45度			
	90度			

図5 実験条件

4. 結果と考察

4.1 重力が足のむくみに与える影響（実験1）

得られたデータから1分間ごとの区間平均を算出した。ここで1分目を基準とする変化率の平均値±標準誤差について図6に示す。

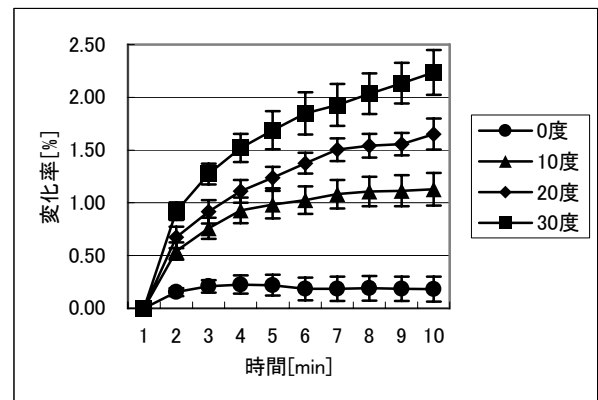


図6 1分目を基準とする変化率の経時変化

図6より条件変更後5分間はグラフの立ち上がりが大きく、姿勢変化による体液分布の変化の影響が大きいことが推察された。そこで6分目の値を基準とする10分目の値を算出し、ベッド角度を要因とする一元配置分散分析を行った。その結果、ベッド角度の要因の主効果が有意であった（ $F=4.239$ $p<0.05$ ）。この結果は、ベッド角度が、足のむくみ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変化率の平均値±標準誤差を図7に示す。

図7より足のむくみは、ベッド角度0度の時には

むくみの進行が見られず、ベッド角度が傾斜するほど増加している。このことから、足のむくみの進行が最も遅い条件は、背臥位（ベッド角度0度）であり、ベッド角度が傾斜するほど、足のむくみが進行しやすいことが推察される。

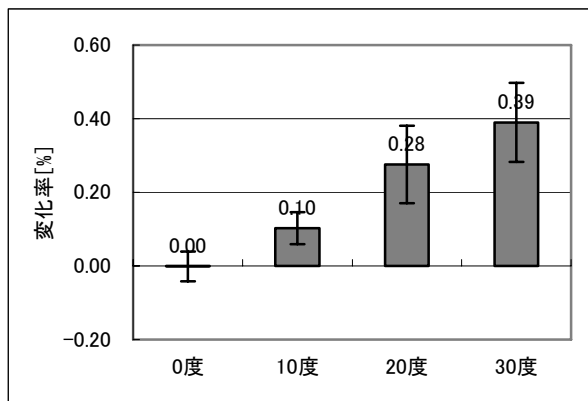


図7 6分目を基準とする10分目の変化率

4.2 椅子角度が足のむくみに与える影響（実験2）

得られたデータから1分間ごとの区間平均を算出した。ここで1分目を基準とする変化率の平均値

±標準誤差について図8に示す。図8より条件変更後5分間はグラフの立ち上がりが大きく、条件変更による体液分布の変化の影響が大きいことが推察された。そこで6分目の値を基準とする10分目の値を算出し、背もたれ角度とフットレスト角度を要因とする二元配置分散分析を行った。その結果、背もたれ角度とフットレスト角度の各要因の主効果が有意であった（背もたれ角度： $F=10.622$ $p<0.01$ 、フットレスト角度： $F=46.095$ $p<0.01$ ）。また背もたれ角度とフットレスト角度の間に交互作用が認められた（ $F=4.729$ $p<0.01$ ）。この結果は、背もたれ角度とフットレスト角度が、足のむくみ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変化率の平均値±標準誤差を図9に示す。図9より足のむくみは、背もたれ角度とフットレスト角度がそれぞれ0度の条件において最も少なく、それぞれ90度の条件で最も増加している。このことから、足のむくみの進行が最も遅い条件は、背臥位（足0度、背0度）であり、屈曲位（足90度、背90度）の座位は足のむくみが進行しやすいことが推察される。

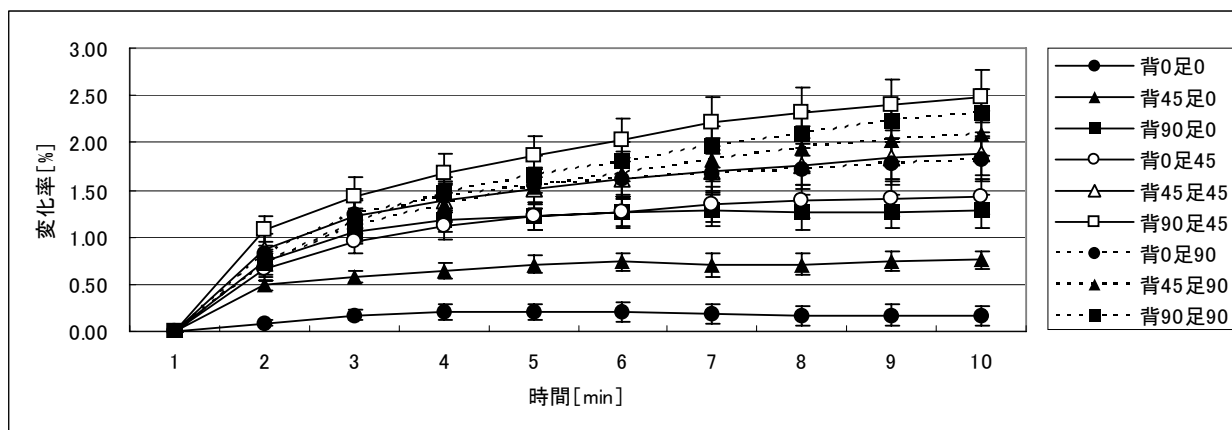


図8 1分目を基準とする変化率の経時変化

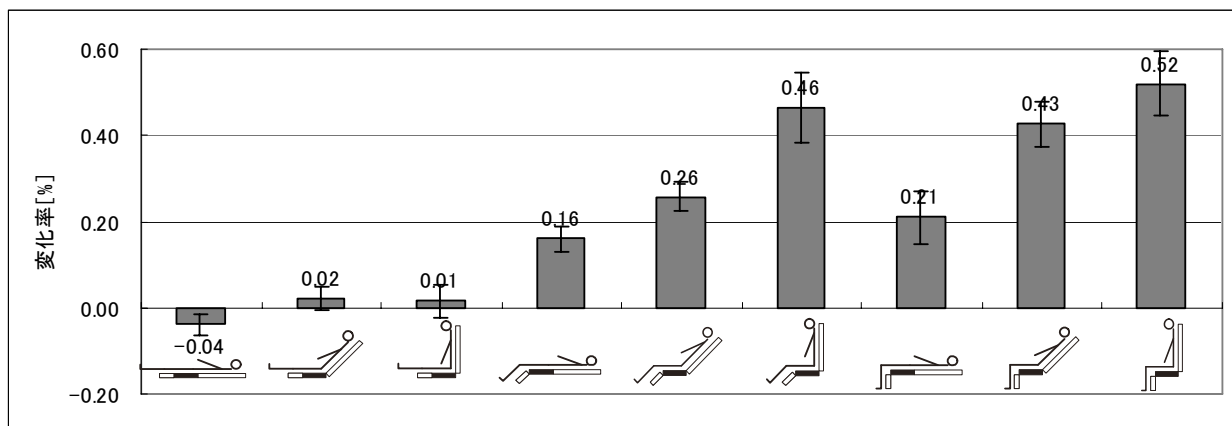


図9 6分目を基準とする10分目の変化率

4.3 椅子角度が大腿部裏側の圧力に与える影響 (実験3)

得られたデータを元に、背もたれ角度とフットレスト角度を要因とする二元配置分散分析を行った。その結果、背もたれ角度とフットレスト角度の各要因の主効果が有意であった（背もたれ角度： $F=89.756$ $p<0.01$ 、フットレスト角度： $F=112.321$ $p<0.01$ ）。また背もたれ角度とフットレスト角度の間に交互作用が認められた。（ $F=21.764$ $p<0.01$ ）。この結果は、背もたれ角度とフットレスト角度が、圧力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圧力平均値±標準偏差を図10に示す。図10より、フットレスト角度が0度の条件において、背もたれ角度が変化しても圧力には影響がないことが分かる。これは被験者の座姿勢が影響しており、フットレスト角度が0度になることにより、膝裏が浮いた姿勢となるためであると考えられる。またフットレスト角度が45度と90度の条件において、背もたれ角度が変化するほど圧力が大きくなることが分かる。このことから、フットレスト角度が45度と90度の座位は、静脈環流が低下しやすいことが推察される。

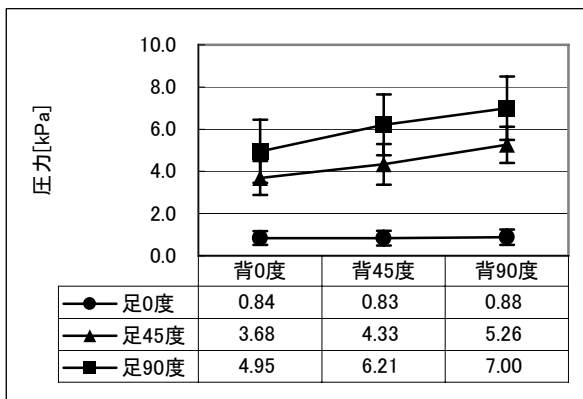


図10 椅子角度と大腿部裏側の圧力の関係

5. 足のむくみの変化率のモデル化

足のむくみは、その姿勢に応じて、心臓からの高さに等しい静水圧の影響を受けることから心臓の高さを、また静脈環流への影響を考慮して大腿部裏側への圧力を、それぞれ用いた足のむくみの変化率のモデル化を検討した。まず計測した被験者ごとの人体寸法データを用い、重力および椅子角度の条件ごとに、心臓と足の高低差を算出した。なお椅子角度が足のむくみと大腿部裏側の圧力に与える影響の結果を参考に、胸骨下縁高を心臓の位置と仮定し、膝から下の高低差と腰から上の高低差を別々に扱うこととした。高低差と圧力をもとに足のむくみを求める重回帰分析を行った結果、

以下の式が求められた ($R^2=0.627$)。

$$\text{足のむくみの変化率} = ax_1 + bx_2 + cx_3 + d$$

- x_1 : 胸骨下縁高 - 転子高(mm)
 x_2 : 脛骨上縁高(mm)
 x_3 : 大腿部裏側の圧力(kPa)
 a : 0.000443 (係数)
 b : 0.000107 (係数)
 c : 0.067232 (係数)
 d : -0.13871 (定数)

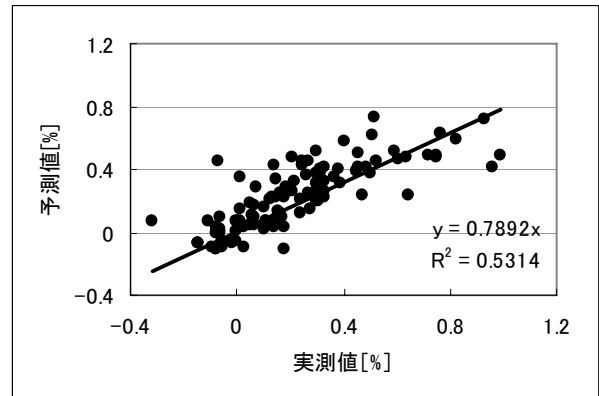


図11 実測値と予測値の相関関係

ここで高低差と足のむくみの関係について、実測値と予測値の関係を図11に示す。図11より、実測値と予測値の相関分析を行ったところ、正の相関関係が認められた ($r=0.729$)。このことから得られたモデル式により、ある程度の予測が可能であると推察された。

6. まとめ

本研究ではむくみ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、椅子角度が足のむくみに与える影響の大きさについて検討した。足のむくみにおける生理学的メカニズムのとおり、心臓からの高低差および椅子角度による圧力が足のむくみ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。さらに座面角度が0度の条件に限定した場合ではあるが、高低差と大腿部裏側の圧力によるモデル化をすることができた。今後これらの結果を元に、足のむくみを考慮した椅子設計に活用していく予定である。

文献

- 1) 本郷利憲他：標準生理学，9章 循環，2005．
- 2) 安藤敏弘他：岐阜県生活技術研究所研究報告，No.8，pp.1-6，2006．

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

成瀬 哲哉^{*1}、安藤 敏弘^{*1}、藤巻 吾朗^{*1}、坂東 直行^{*1}、堀部 哲^{*2}

Research on Comfort Evaluation and Function Design of Wooden Chair
by Ergonomic Technique (XV)
Armrest position that considered human body size

Tetsuya NARUSE^{*1}, Toshihiro ANDO^{*1}, Goroh FUJIMAKI^{*1}, Naoyuki BANDO^{*1} and Satoshi HORIBE^{*2}

木製椅子における肘掛の最適位置を検討するため、背角度が 90,105,120 度の 3 条件に關して、肘掛の高さを変え、肘頭を置く位置に關して前後左右位置測定を行った。

実験結果より肘掛高さは背もたれの後傾に伴い低くなるが、これは人が背もたれ角度が 90 度の場合の「上体と上腕の開き角度 / 位置関係」をほぼ保ちながら背もたれとともに後傾していることが要因であると考えられた。この考察を元に背もたれ形状を考慮した休息用試作椅子を用いて実証実験を行い、背もたれ角度が 90 度の場合(基本姿勢)から試作椅子の最適な肘掛位置を推測することが可能であった。

これらの結果より基本姿勢時の身体と上腕の開きの角度に注目することにより、作業用椅子と休息用椅子のような背もたれ角度や背もたれ形状が違う椅子に対しても肘掛位置を設定し応用できることがわかった。

1. 緒言

木製椅子の肘掛に關しては立ち上がり易さに着目した評価 / 研究は多いが、「着座中に前腕を置く場所」としての肘掛位置の評価 / 研究は近年行われていない。

近年の日本人の人体寸法の変化に対応するため、本研究では木製椅子の肘掛高さと肘掛を使用時の肘頭の位置に着目し、人体寸法と照らし合わせることで、作業椅子や休息用椅子など様々な用途や姿勢に対応できる肘掛に關する知見の導出を目指した。

2. 実験

木製椅子における肘掛の最適位置を算出するため、背もたれ角度と肘掛の使用範囲に關する実験

^{*1} 試験研究部（シミュレーション研究室）

^{*2} 総合企画部研究開発課

を行った。

実験装置として高さ調節可能な昇降台に前後 70cm 左右 30cm のグリッドを表示した平板を肘掛とし、この肘掛昇降台の間に背もたれ角度を 90,105,120 度に設定した実験椅子を配置し、肘掛の高さを変え、肘頭を置く位置に關して前後左右位置の測定を行った。本実験では背もたれ角度が 90 度の場合を「基本姿勢」と定義する。図 1 に実験装置を示す。

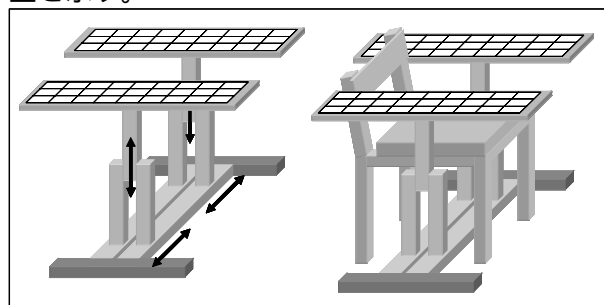


図1 肘掛昇降台と実験椅子

被験者は20歳代男女18名、被験者の身体寸法は身長、壁面肩峰間距離(上肢下垂:立位)、肩峰幅(立位)、座位肘頭高、座位肩峰高、座高を測定した。被験者は背もたれ角度が90,105,120度の椅子に着座し、肘掛高さを変化させ「肘頭最適位置」「使用可能範囲(無理なく肘頭が置ける範囲)」「肘掛最適高さ」を主観評価により測定した。図2に実験イメージおよび測定部位、図3に肘頭の測定位置基準、図4に実験風景を示す。

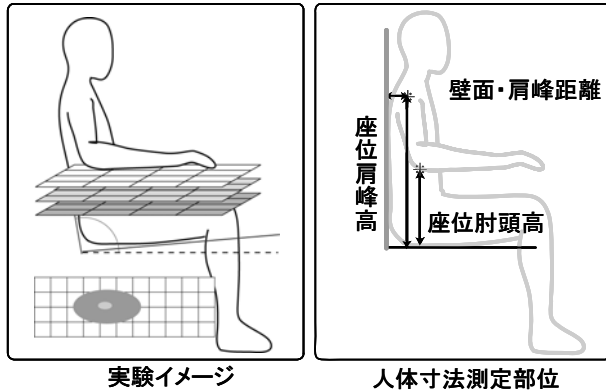


図2 実験イメージおよび測定部位

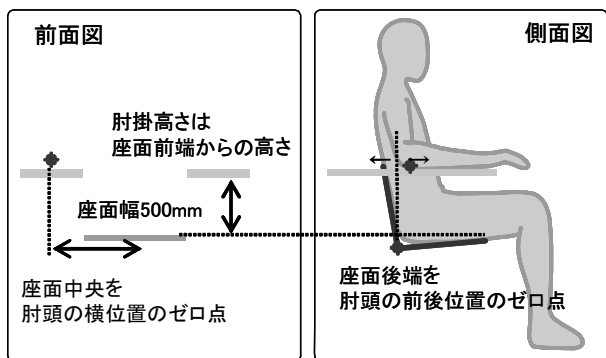


図3 肘頭の測定位置基準

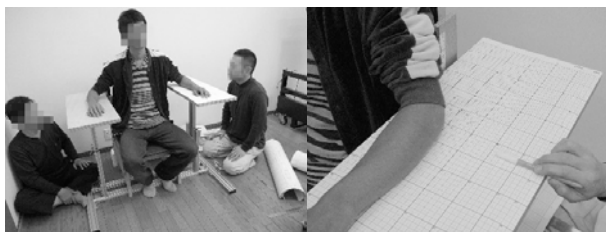


図4 実験風景

3. 結果と考察

実験結果をもとに背もたれ角度と「最適位置」「使用可能範囲」「最適高さ」の関係を表1に、使用可能範囲と最適位置の側面図を図5、上面図を図6、前面図を図7に示す。

表1 背もたれ角度と肘頭位置

肘掛位置 (cm)		背もたれ角度		
		90°	105°	120°
前後	範囲	0~30	-10~20	-20~10
	最適	10~25	-5~10	-10~0
左右	範囲	25~40	25~40	25~45
	最適	30~40	30~40	30~40
最適高さ		25~35	25~35	20~30

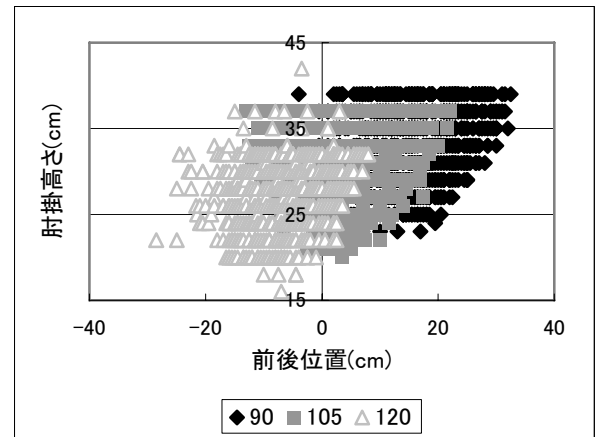


図5 使用可能範囲最適位置の側面図

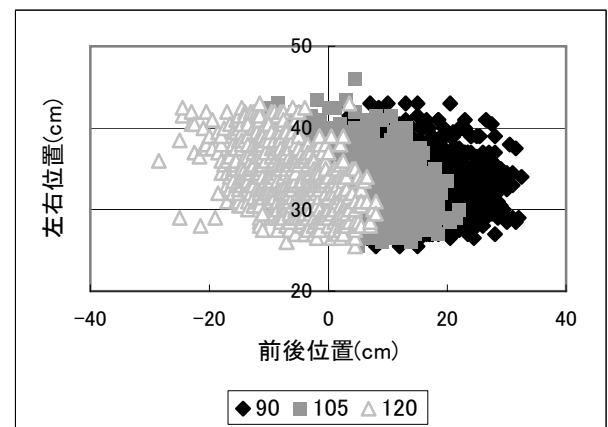


図6 使用可能範囲最適位置の上面図

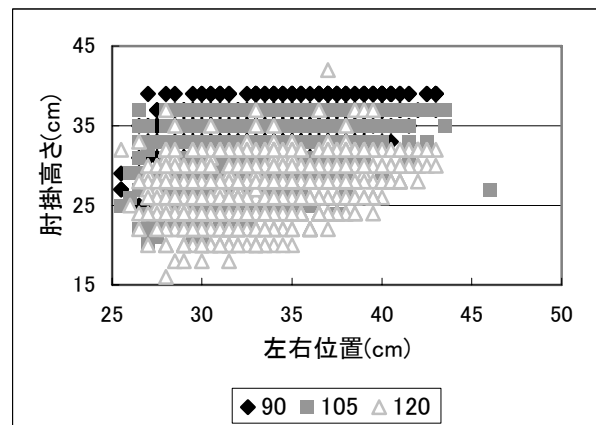


図7 使用可能範囲最適位置の前面図

図5から背もたれ角度の変化に伴い、肘の置く位置が全体的に後方および下方に移動することがわかる。また図6、図7から肘掛高さがあがるにつれて使用可能範囲は広がるが、最適と感じられる範囲は外側に広がることわかる。図7からは背もたれ角度の変化に関わらず最適な位置に関しては、座面の中心から30～40cmの範囲になることがわかる。

しかし、人体寸法を考慮したうえで最適位置を考察する場合、座位肘頭高は肘掛位置を設定する上で重要ではあるが、身長や座位肩峰高といった体格差を表す因子とは相関が低いいため、体格差と肘掛の最適位置の関係を導出することが困難である。そこで、被験者の身体寸法をもとに肩峰を原点として「最適位置」に肘を置いているときの上腕の開き具合(肩峰と肘頭のなす角度)を算出し最適位置の考察を行った。図8に側面から見た上腕の開き角度の考察条件、図9に側面から見た上腕の開き角度と肘掛高さの関係、図10に背もたれによる身体の後倒分を補正した結果を示す。

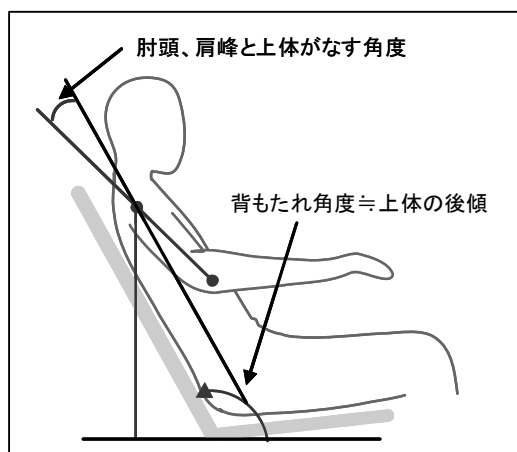


図8 上腕の開き角度の考察条件

図9より肘掛高さが同じでも背もたれが後傾するに従い上腕の開きが大きくなっているようであるが、図10より実際は肘掛高さの上腕の開き角度は背もたれ角度が変わってもほとんど変わらないことがわかる。また、図5の側面図からも、より肘掛の後方に肘を置いているように見えるが実際は図11のように「基本姿勢」(背もたれ角度が90度)の上体と上腕の関係を保ちながら背もたれとともに後傾していると考えられる。

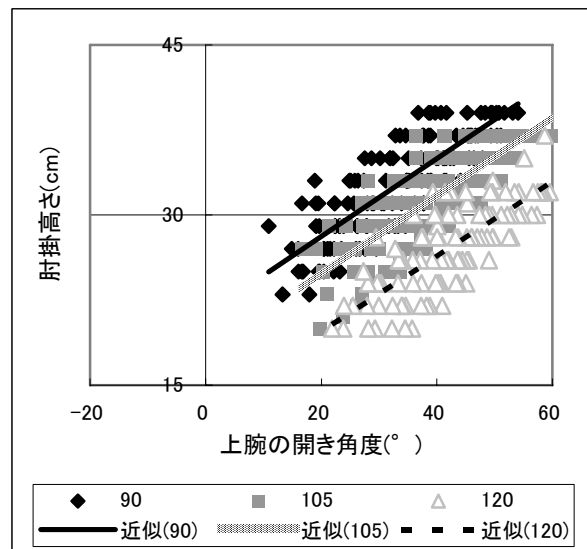


図9 上腕の開き角度と肘掛高さ

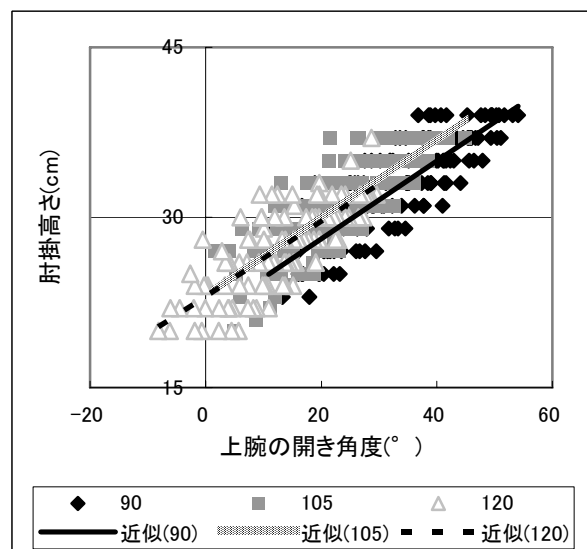


図10 上腕の開き角度と肘掛高さ
(背もたれの角度を補正)



図11 基本姿勢と背もたれ角度の関係

4. 実証実験

前項の考察を元に、肘頭位置は基本姿勢の後傾から導出できるか実証実験を行った。被験者は20～30歳代の男女10名。被験者の身体寸法は身長、壁面肩峰間距離(上肢下垂：立位)、肩峰幅(立位)、座位肘頭高、座位肩峰高、座高を測定した。被験者は図1の肘掛昇降台に設置した背もたれ角度が90、105、120度の椅子と当所にて試作した背もたれ形状を考慮した休息用椅子(図12)に着座し、肘掛高さを変化させ「肘掛最適高さ」における「肘頭最適位置」を主観評価により測定した。また腸骨稜、肘頭、肩峰にマーキングを行い、側面からの写真により肘頭、肩峰、上体がなす角度の実測を行った。実験風景を図13に示す。

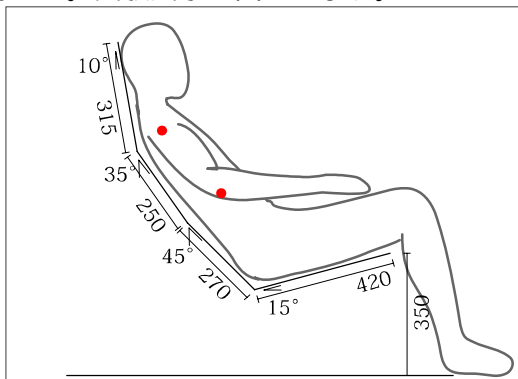


図12 背もたれ形状を考慮した休息用椅子



図13 実験風景

5. 結果と考察

基本姿勢(背もたれ角度90度)時の上腕と上体がなす角度と最適な肘掛高さを表2に示す。また各被験者ごとの基本姿勢時の最適高さ、最適位置と上腕と上体となす角度から、105度/120度/試作椅子の実測値と予測値の比較を表3に示す。105度、120度の椅子に関しては背角度で肩峰位置の補正を行い、試作椅子に関しては椅子の背もたれ形状に沿って肩峰位置を補正している。

表2 上腕と上体がなす角度と最適な肘掛高さ

被験者番号	肘掛高さ(mm)	前後(mm) 座面後端から	左右(mm) 座面中心から	上腕と上体が なす角度(度)
1	270	95	300	-1.8
2	290	145	300	7.2
3	295	155	310	4.7
4	330	85	310	-6.5
5	250	85	280	-3
6	260	135	290	1.6
7	250	155	300	-8.9
8	290	55	305	-7.5
9	270	165	300	2.8
10	245	125	300	-5.1
平均	275	120	300	-1.65
最大値	330	165	310	7.2
最小値	245	55	280	-8.9

表3 肘掛高さの実測値と予測値の比較

被験者	105		120		試作	
	実測 (mm)	予測 (mm)	実測 (mm)	予測 (mm)	実測 (mm)	予測 (mm)
1	260	261	275	232	250	214
2	280	254	270	239	245	234
3	290	328	275	300	260	294
4	320	298	310	257	260	252
5	230	249	230	218	185	213
6	255	265	265	240	235	231
7	240	257	240	217	225	209
8	265	241	240	205	195	185
9	260	252	245	230	235	220
10	235	233	220	201	195	190
平均	264	264	257	234	229	224

これらの結果より、105、120度、試作椅子の肘掛高さの実測値は基本姿勢時の肘掛高さとして予測値とほぼ一致し、前項の考察【人は「基本姿勢」の位置関係をほぼ保ちながら背もたれとともに後傾している】と合致する。また、その時、上腕と上体のなす角度はおよそ-7.5～7.5度の範囲と推測される。これより、背もたれ角度や背もたれ形状に応じて肩峰位置に補正を掛けることで、適した肘掛位置を導出できると考えられる。

次に2005 AIST人体寸法データベースを用いた考察を行う。肘掛の横位置を座面中心から300mm、側面から見た上腕と上体がなす角度範囲を-7.5～7.5度とし、側面から見た肘頭の可動軌跡を背もたれ角度が90度の場合を図14に、105度を図15に、120度を図16に、休息用試作椅子を図17に示す。横軸/縦軸ともに座面後端を原点としている。また、肘頭位置座標の縦軸、横軸それぞれの方向で25～75%ileに含まれる座標位置を最適な肘頭位置の範囲とし、図中に破線として示す。それぞれの条件から算出した最適な肘頭位置の範囲を表4にまとめる。

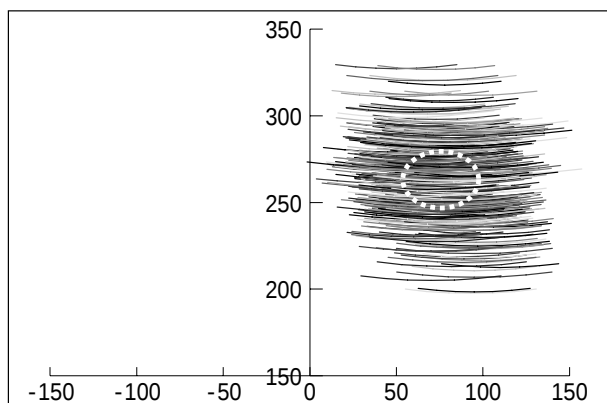


図14 90度の時の肘頭軌跡

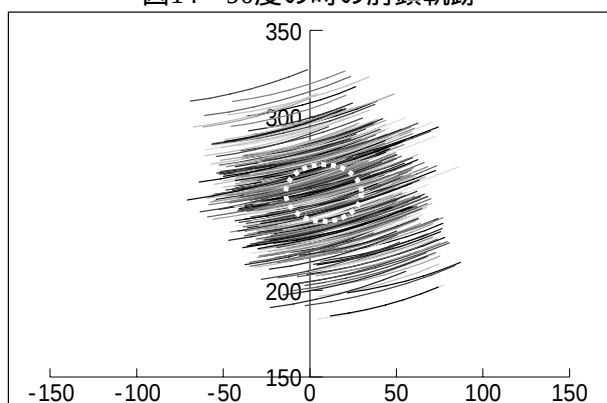


図15 105度の時の肘頭軌跡

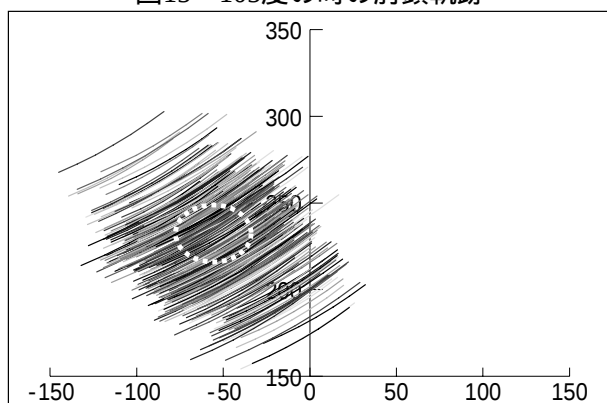


図16 120度の時の肘頭軌跡

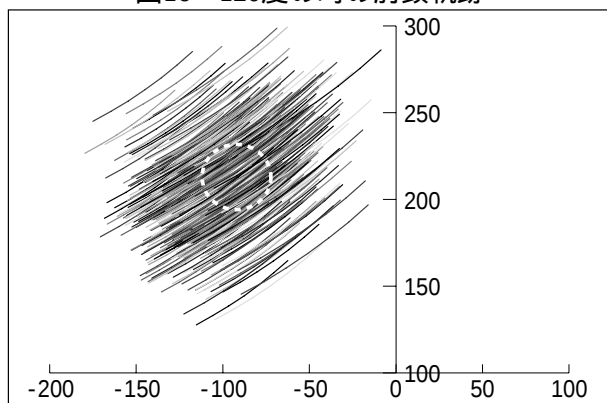


図17 試作椅子の肘頭軌跡

表4 最適な肘頭位置

背もたれ角度	前後位置	高さ
90°	54~99mm	248~281mm
105°	-14~30mm	241~274mm
120°	-78~-34mm	217~249mm
試作椅子	-118~-78mm	194~232mm

表3と表4の比較より実測値と予測値はほぼ一致していることから、人体寸法データベースを基に肘頭軌跡を算出することが出来ることがわかった。これより座面幅やデザインに合わせて、まず肘掛左右幅を決定することでその椅子に適した「肘頭を置く位置」の高さ、前後位置を算出可能であると考えられる。

また肘掛全体を考慮した場合、前腕を置くためには肘頭から指先までの長さがあれば前腕全体を置くことが可能である。人体寸法データベースより前方前腕長をもとに、本研究の肘頭位置を基点として肘掛の長さを設定することが可能であると考えられる。

6. 製品への応用

前述の考察を用いて、製品への応用例として当所にて製作したローバックタイプ試作椅子と休息用試作椅子の最適肘掛を算出した。今回は前方前腕長を75%ile値：450mmを用いた。

・ローバックタイプ試作椅子

肘掛の左右位置は一般的なダイニングの座面幅(500mm)に合わせて座面中心から250mm、背もたれ角度110°にて肘頭位置を算出し、肘掛長は473mm=前方前腕長450mm(75%ile) + 約23mm(後端 - 肘頭平均位置)とした。寸法図を図18に示す。

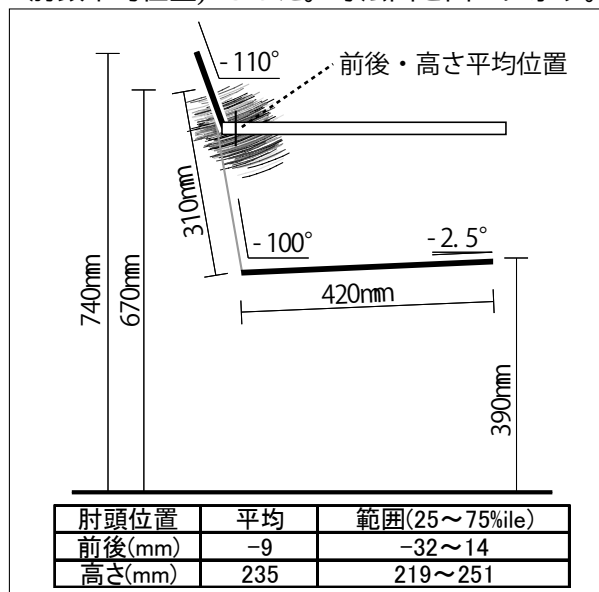


図18 ローバックタイプ試作椅子の最適肘掛位置

・休息用試作椅子

肘掛の左右位置は休息用ということを考慮し、実験結果より肘頭を最も置きやすい位置として座面中心から300mm、背もたれ形状にあわせて肘頭位置を算出し、肘掛長さ470mm=前方前腕長450mm(75%ile)+約20mm(後端-肘頭平均位置)とした。寸法図を図19に示す。

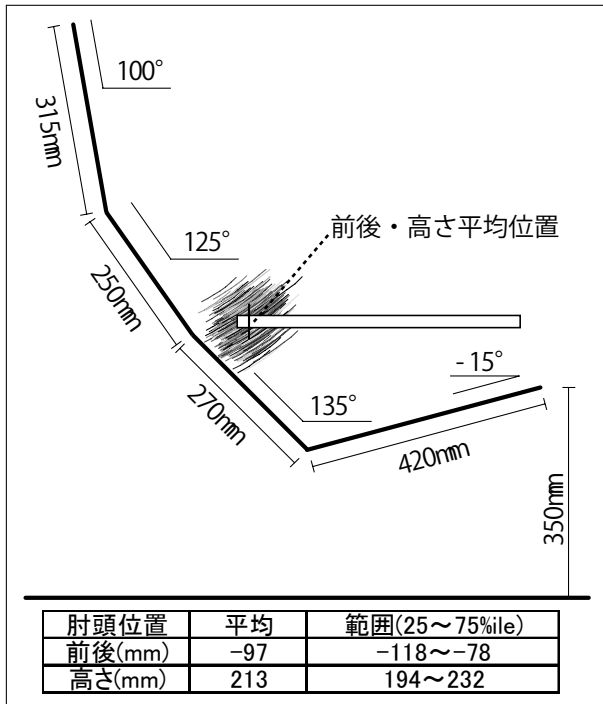


図19 休息用試作椅子の最適肘掛位置

7. まとめ

本研究は肘(肘頭)を置く位置に着目し、背もたれ角度や背もたれ形状の違う木製椅子に関して最適な肘掛位置の導出を行った。

肘掛位置は背もたれの後傾に伴い低くなるが、これは人が背もたれ角度が90度の場合の「上体と

上腕の開き角度/位置関係」をほぼ保ちながら背もたれとともに後傾していることが要因であると考えられた。この考察を元に背もたれ形状を考慮した休息用試作椅子を用いて実証実験を行い、背もたれ角度が90度の場合(基本姿勢)から試作椅子の最適な肘掛位置を推測することが可能であることがわかった。これらの結果より基本姿勢時の身体と上腕の開きの角度に注目することにより、作業用椅子と休息用椅子のような背もたれ角度や背もたれ形状が違う椅子に対しても肘掛位置を設定し応用できることがわかった。

また、前腕を置く場所として考慮した場合、肘頭から指先までの長さがあれば前腕全体を置くことが可能である。人体寸法データベースより前方前腕長(95%ile値 474mm、75%ile値 450mm、50%ile値 430mm)を基に、本研究の肘頭位置を基点として肘掛の長さを設定することが可能であると考えられる。

謝辞

実験に協力いただいた飛騨国際工芸学園の皆様、早稲田大学野呂研究室の皆様、椅子の寸法調査にご協力いただいた家具のブランド研究会参加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.20-29，2007．
- 2) 藤巻吾朗他：岐阜県生活技術研究所研究報告，No.8，pp.12-16，2006．
- 3) 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．
- 4) 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．

人間工学的手法による 木製椅子の快適性評価と機能設計に関する研究（第16報） 休息用椅子において推奨される角度条件の検討

藤巻 吾朗^{*1}、安藤 敏弘^{*1}、成瀬 哲哉^{*1}、坂東 直行^{*1}、堀部 哲^{*2}

Research on Comfort Evaluation and Function Design of Wooden Chair
by Ergonomic Technique (XVI)
An estimation of the recommended angular conditions for chairs at rest

Goroh FUJIMAKI^{*1}, Toshihiro ANDO^{*1}, Tetsuya NARUSE^{*1}, Naoyuki BANDO^{*1} and Satoshi HORIBE^{*2}

本研究では、休息用椅子で推奨される座面高や角度条件について、下肢の血行動態、頸部の筋活動、身体の安定性（圧力中心の移動量）主観評価による休息性といった面からの検討を行った。これらの評価項目をもとに総合的に判断した結果、背座角度は 120 度で、座面角度は 0～5 度、座面高と同じ程度の高さのフットレストを使用することが推奨された。また、首にかかる負担は上体の支え方（背もたれの形状）により軽減することが可能であると考えられたため、頸部の筋活動以外の項目で評価の高かった角度条件について上体の支持方法を検討し、今後はより休息性の高い推奨値の導出を行っていく。

1. 緒言

休息用椅子の用途は主に休息を取ることであり、さらには、テレビ観賞、読書、会話などが考えられる。すなわち、休息用椅子は何らかの活動を伴った休息をとるための椅子であると考えられ、最低限の活動を妨げずに休息を取ることが主目的となる。休息性のみを追求した場合、臥位姿勢（寝た姿勢）が最も良い姿勢であると考えられる。また、何らかの活動を行う場合には、立位もしくは身体の起きた姿勢を保持する作業用椅子を用いる方が効率がよいと考えられる。休息用椅子で重要となってくるのは、立位や作業用椅子に座っていた際に負担のかかる部位をテレビ観賞などの活動を行いながら休めることにある。この場合、主に脚や肩、腰などに負担がかかることが考えられ、これらの負担が休息用椅子に座ることによって軽減されることが望ましい。休息用椅子の基本的な構造は、座面高が低く、背もたれが大きく後傾したもので

あり、座面、背面ともに厚めのクッションを敷いたものである。しかし、休息用椅子の設計指針は明確ではなく、まずは基本的な設計要因である座面高や背座角度について明らかにすることが望まれる。

そこで、本研究では、休息用椅子において推奨される座面高および背座角度について検討する。なお、推奨値導出にあたっては、テレビ観賞などの最低限の活動を伴った上での休息性を考慮する。

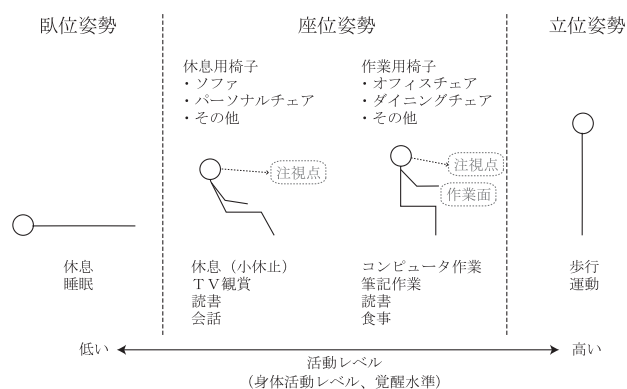


図1 休息用椅子の位置づけ

^{*1} 試験研究部（シミュレーション研究室）

^{*2} 総合企画部研究開発課

2. 方法

2.1 実験概要

6名の被験者を対象に角度条件の違う椅子に着座してもらい、休息性に関する主観評価および下肢の血行動態、筋活動、圧力中心の動揺についての調査を行った。実験時は、被験者にはTV観賞を行ってもらい、モニタは視線が水平になる位置に設置した。椅子の角度条件については、乱数表に従い呈示し、各条件に3分間着座してもらった。なお、実験時は被験者には安静状態で着座してもらい、測定結果の分析の際には、3分間の測定データの最後の1分間を用いた。

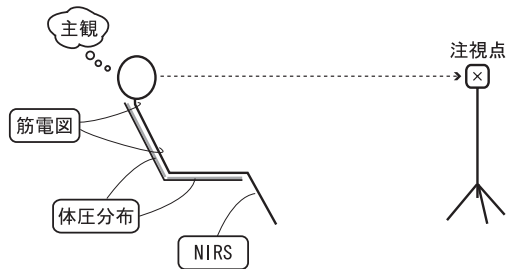


図2 実験環境



図3 実験風景

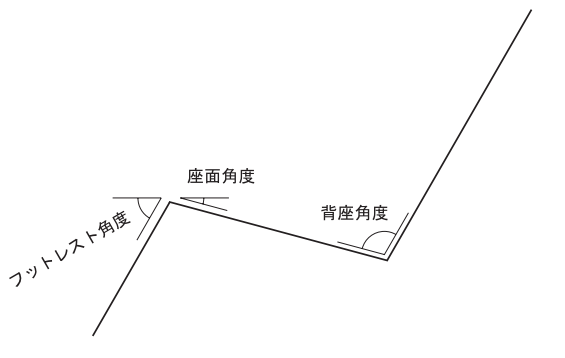


図4 角度条件の定義

2.2 測定条件

背座角度3条件（100°、110°、120°）座面角度5条件（0°、5°、10°、15°、20°）フットレスト角度4条件（0°、30°、60°、90°）これらの全ての組み合わせの計60条件について測定を行った。なお、下肢の血行動態については、これらに加え仰臥位（寝た姿勢）での測定を行った。

2.3 測定項目

休息姿勢（後傾姿勢）をとった際に重要となると考えられる脚のむくみや不快感、上半身を支えるための筋肉について、生理的な測定を行った。脚のむくみや不快感の指標として、下肢の血行動態の測定、上半身を支えるための筋活動の指標として、表面筋電図の測定を実施した。また、先行研究より、休息用椅子には身体の安定性が重要であると考えられたことから¹⁾、身体の安定性の指標として、圧力中心の動揺（移動量）を測定した。同時に主観評価による休息性についても調査を行った。

1) 近赤外線分光法による下肢の血行動態の測定

（Near Infrared Spectroscopy: NIRS）

下肢の血行動態をサンプリング周波数1Hzで連続的に測定した（BOM-L1TRW オメガウェーブ株式会社）。測定部位は両足下腿後面内側の腓腹筋とし、13～30mmの深部を計測した。測定結果については、oxy-Hbを動脈血の血行動態、deoxy-Hbを静脈血の血行動態を示す指標とし^{2)～4)}、下肢の血行動態への影響が小さいと考えられる仰臥位を基準に他の条件との比較を行った。

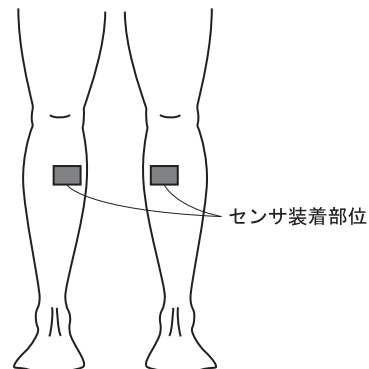


図5 NIRS測定部位

2) 表面筋電図の測定（Electromyography: EMG）

後傾姿勢をとった際に上体を支えるために活動する筋肉として、右胸鎖乳突筋および右腹直筋について表面筋電図の測定を行った。測定結果をもとに積分値を算出し、筋活動の指標とした。

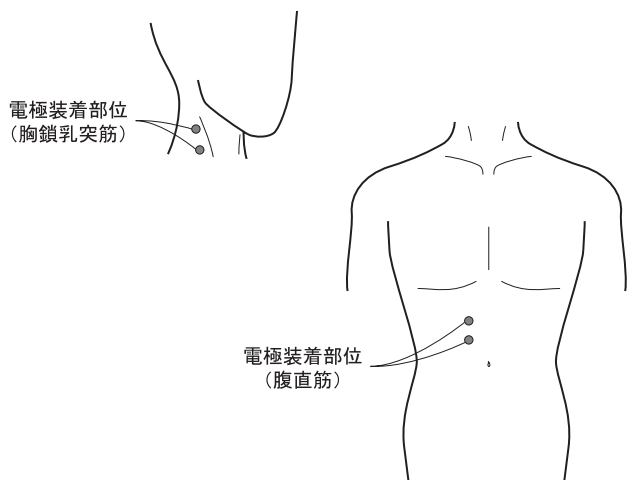


図6 表面筋電図測定部位

3) 体圧分布による圧力中心動揺の測定 (Center of Pressure: COP)

座面、背面における体圧分布をサンプリング周波数 1Hz で連続的に測定した (Xsensor: XSENSOR Technology Corporation) 測定結果を基に座面、背面それぞれについて圧力中心を算出し、圧力中心の総移動量を身体の安定性の指標として用いた。

4) 主観評価 (Subjective Evaluation)

各条件について1分半経過した時点で、被験者が感じた休息性を口答で評価してもらった。評価は7段階の評価尺度で実施し、評点7がもっとも休息性が高いとした。

< 実験手順 >

開始：NIRS、筋電図、体圧の計測開始

- 1) 乱数表に従い角度条件を設定。
- 2) 座眼高と同じ高さにモニタ中心の高さを設定。
- 3) 3分間の安静。(1分間経過後主観評価を実施)
- 4) 1)～3)の繰り返し。

実験後：仰臥位でのNIRS測定

3. 結果・考察

3.1 下肢の血行動態

今回実験を行った計60条件について、仰臥位との比較を行った。結果を付録1、付録2に示す。付録1はdeoxy-Hb、付録2はoxy-Hbの腓腹筋での測定結果である。有意水準5%で臥位姿勢と比較して有意差のあった条件を灰色で、有意差のなかった条件を黒色で示す。

臥位姿勢と比較し、deoxy-Hb、oxy-Hb、の両方について、統計的に有意な差がなかった角度条件は表1に示した通りである。これらの角度条件は下

肢の血行動態については、仰臥位との差がなく、脚のむくみや不快感の発生しにくい条件であることが示唆された。

表1 下肢の血行動態からみた角度条件の推奨値

座面角度	背座角度	フットレスト角度
15	100	0
20	100	0
10	110	0
15	110	0
20	110	0
20	110	30
0	120	0
5	120	0
5	120	30
10	120	0
10	120	30
15	120	0
15	120	30
15	120	60
20	120	0
20	120	30

以上のことから、下肢の血行動態を考慮すると、休息時には、フットレストを使用することが望ましく、角度条件は以下のように設定することが推奨された。

- 背座角度が100度のときは、座面角度15～20度でフットレスト角度0度。
- 背座角度が110度のときは、座面角度10～15度でフットレスト角度0度、座面角度20度でフットレスト角度0～30度。
- 背座角度が120度のときは、座面角度0度でフットレスト角度0度、座面角度5～20度でフットレスト角度0～30度、また、座面角度15度についてはフットレスト角度0～60度。

3.2 表面筋電図

測定結果をもとに積分値を算出した後、被験者ごとに標準化を行った。今回測定した胸鎖乳突筋、腹直筋は、後傾姿勢をとった際に上半身を支えるための主な筋肉であり、それには背もたれの角度が影響していると考えられる。

胸鎖乳突筋について、背面角度を要因とした一元配置の分散分析を行った結果、主効果が認められ ($p<0.01$) 背面角105度で胸鎖乳突筋の筋活動は最小値を示し、それと比較して背面角130度以上で統計的に有意な差がみられた ($p<0.05$) (図7)。

腹直筋について、背面角度を要因とした一元配置の分散分析を行った結果、主効果が認められ ($p<0.01$) 背面角105度で腹直筋の筋活動は最小値を示し、それと比較して背面角140度で統計的に有意な差がみられた ($p<0.05$) (図8)。

以上のことから、背もたれの角度は125度以下にすることが上体を支えるための筋負担が少なく、望ましいと考えられた。

3.3 圧力中心の動揺

測定結果をもとに圧力中心の総移動量を算出した後、被験者ごとに標準化を行い、背座角度、座角度、フットレスト角度の3要因について三元配置の分散分析を行った。

背面の圧力中心の移動量について、座面角度、背座角度に主効果がみられた ($p<0.05$)。図9に座面角度ごと、図10に背座角度ごとの圧力中心の総移動量を示す。多重比較を行った結果、座面角度については統計的に有意な差は認められず、背座角度については、100度と120度の間で有意差がみられた ($p<0.05$) (図10)。

座面の圧力中心の移動量については、フットレスト角度に主効果が認められ ($p<0.05$)、フットレスト角度、背座角度に交互作用がみられた。 ($p<0.05$)。図11～13にフットレスト角度による座面の圧力中心の総移動量を背座角度ごとと比較した結果を示す。背座角100度のときは、フットレスト角30度で最小値を示し、フットレスト角0度との間に有意な差がみられた ($p<0.01$) (図11)。背座角110度のときは、フットレスト角60度で最小値を示し、フットレスト角0度との間に有意な差がみられた ($p<0.05$) (図12)。背座角120度のときは、フットレスト角30度で最小値を示し、他の角度条件との間に統計的に有意な差はみられなかった (図13)。

以上のことから、圧力中心の動揺の観点では、背座角度は110～120度にすることが身体の安定性が増し、背座角度110度の時は、フットレスト角度は30度以上にすることが望ましいと考えられた。

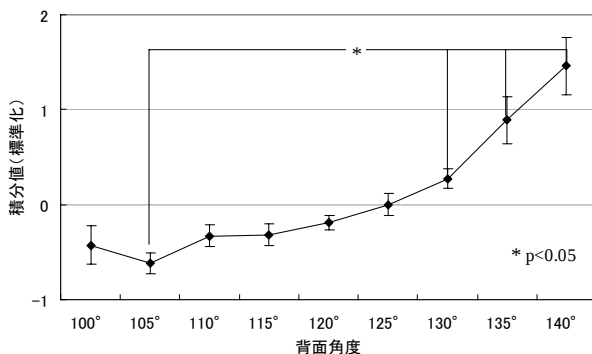


図7 背座角度による胸鎖乳突筋の筋活動の変化

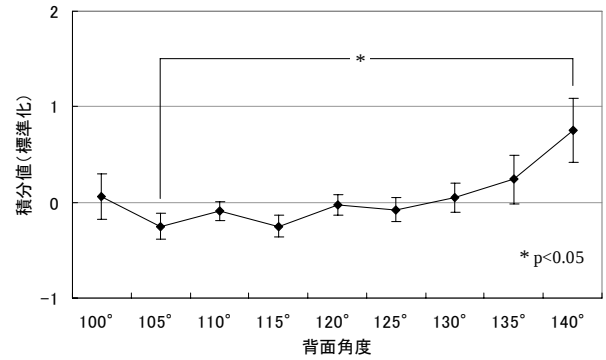


図8 背座角度による腹直筋の筋活動の変化

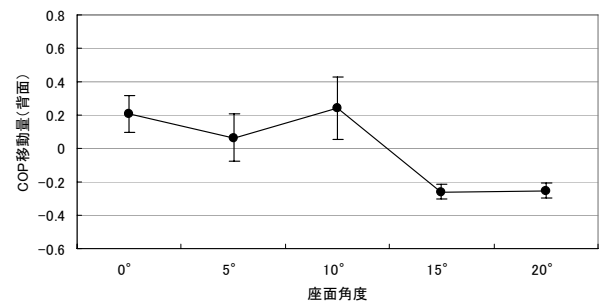


図9 座面角度と背面圧力中心の移動量

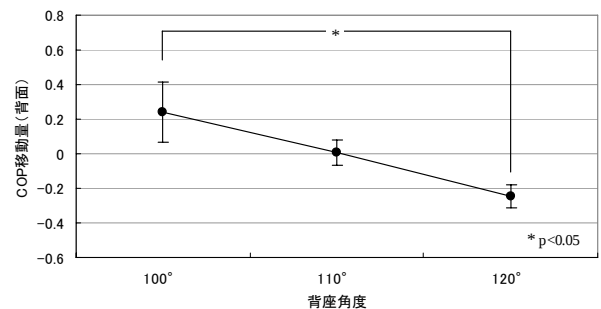


図10 背座角度と背面圧力中心の移動量

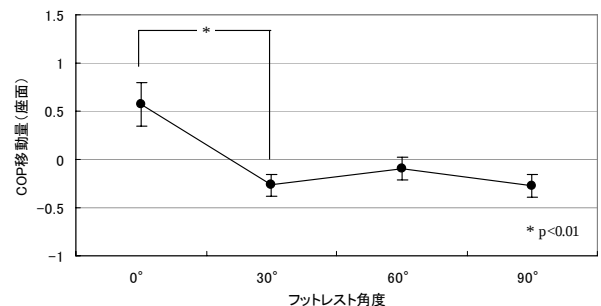


図11 背座角100度での座面圧力中心の移動量

3.4 主観評価

主観評価の結果は被験者ごとに標準化した後、背座角度、座角度、フットレスト角度の3要因について三元配置の分散分析を行った。その結果、座面角度に主効果がみられ ($p<0.05$)、座面角度、背座角度に交互作用がみられた ($p<0.05$)。

図14～16は、背座角度ごとに座面角度と休息性評価との関係を示したものである。背座角度ごとに多重比較を行った結果、背座角100度のときは、座面角10度で最大値を示し、座面角0度との間に有意差がみられた ($p<0.01$) (図14)。背座角110度のときは、座面角10度で最大値を示し、他の角度条件との間に有意差はみられなかった (図15)。背座角120度のときは、座面角10度で最大値を示し、座面角20度との間に有意差がみられた ($p<0.05$) (図16)。

以上のことから、主観評価の観点では、背座角100度のときに座面角5～20度、背座角110度のときに座面角0～20度、背座角120度のときに座面角0～15度にすることが望ましいと考えられた。

4. まとめ

4.1 得られた知見

実験結果をまとめたものを付録3に示す。また、本研究より得られた知見を以下に挙げる。

下肢の血行動態の面から、フットレストを使用することが望ましく、角度条件は以下のようにすることが望まれる。

- 背座角100度のときは、座面角15～20度でフットレスト角0度。
- 背座角110度のときは、座面角10～15度でフットレスト角0度、座面角20度でフットレスト角0～30度。
- 背座角120度のときは、座面角0度でフットレスト角0度、座面角5～20度でフットレスト角0～30度、また、座面角15度ではフットレスト角60度でも臥位とはあまり違いがないことが考察された。

筋活動の面から、背もたれの角度は125度以下にすることが首の負担が少なく、望ましい。

圧力中心の移動量の観点から、背座角度は110～120度にすることが身体の安定性が増し、望ましい。また、背座角110度の時はフットレスト角度は30度以上にすることが望まれる。

主観評価の観点から、背座角100度のときには座面角5～20度、背座角110度のときには座面角0～20度、背座角120度のときには座面角0～15度にすることが望ましい。

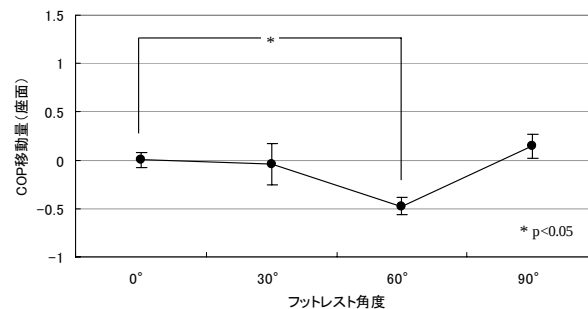


図12 背座角110度での座面圧力中心の移動量

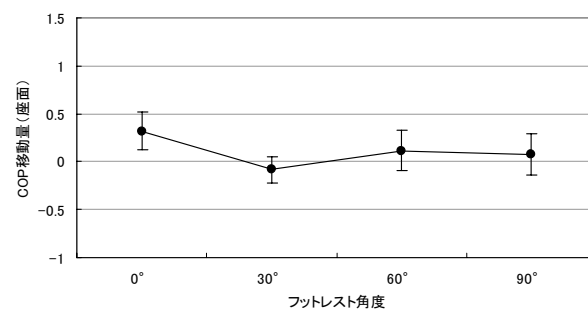


図13 背座角120度での座面圧力中心の移動量

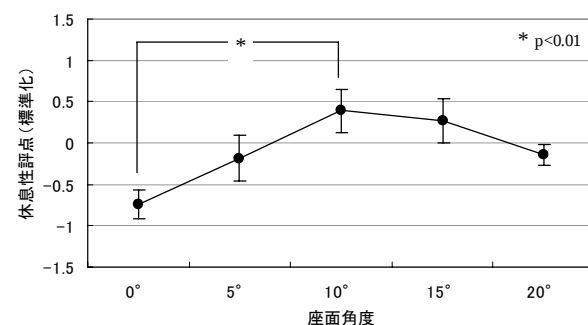


図14 背座角100度における休息性の評価

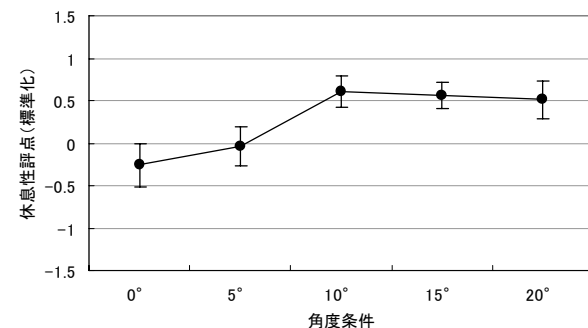


図15 背座角110度における休息性の評価

4.2 推奨される角度条件

図17に示したような角度条件が下肢の血行動態を妨げず、筋負担や体重心の安定、主観評価の面からみて、休息用椅子にとって望ましい角度条件であると考えられた。

図17に示した角度条件については、フットレストを使用しない限り、日本人の下腿高の50%ile値⁵⁾で座面高が約200mmとなってしまう、立ち上がりやすさを考慮するとあまり望ましいとは言えない。さらに、一般的にはオットマンなどのフットレストはオプションとして販売されているため、座面高を高めを設定し、フットレストの使用を前提とし、商品開発を行うことについても現実問題として疑問が残る。そのため、フットレストを使用せずに休息性を十分に満たすような条件について今後検討を行うことが望まれる。

背座角120度、座面角15度、フットレスト角30度の条件では、首にかかる負担は大きいと考えられるものの、下肢の血行動態や身体の安定性については比較的よい結果であった。日本人の下腿高の50%ile値⁵⁾にあたる約400mmで換算した場合、フットレスト角30度のときは座面高が約350mmである。これは、休息用椅子として、実現可能な座面高であると考えられ、フットレストを使用しなくても下肢の血行動態にあまり影響を与えない条件であると考えられた。

今後の課題としては、図18に示したような角度条件について、首の筋肉にかかる負担を軽減させるため、ヘッドレストの位置や角度、もしくは背もたれ形状を検討することが重要となると考えられた。

謝辞

本研究に協力いただきました早稲田大学野呂研究室の皆様に感謝いたします。

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.8，pp.39-41，2006．
- 2) 安藤敏弘他：岐阜県生活技術研究所研究報告，No.8，pp.1-6，2006．
- 3) 安藤敏弘他：岐阜県生活技術研究所研究報告，No.7，pp.1-3，2005．
- 4) 三條理典，中山愛，川村智一：末梢血行動態におよぼすマッサージ器の作用に関する研究，東海大学紀要開発工学部，Vol.10，pp.227-231，2000．
- 5) 通商産業省工学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．
- 6) 花井利通，松岡由幸：安楽姿勢に関する研究，自動車技術，Vol.41，No.11，pp.1275-1279，1987
- 7) 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．

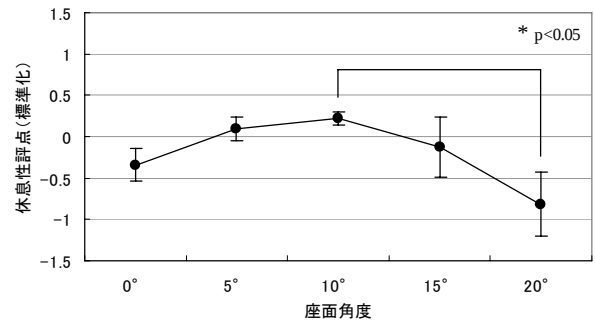


図16 背座角120度における休息性の評価

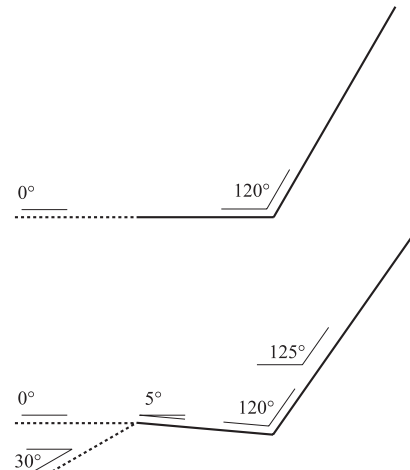


図17 推奨される角度条件

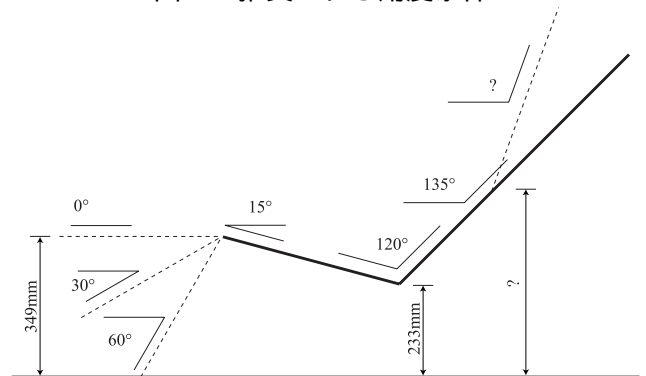
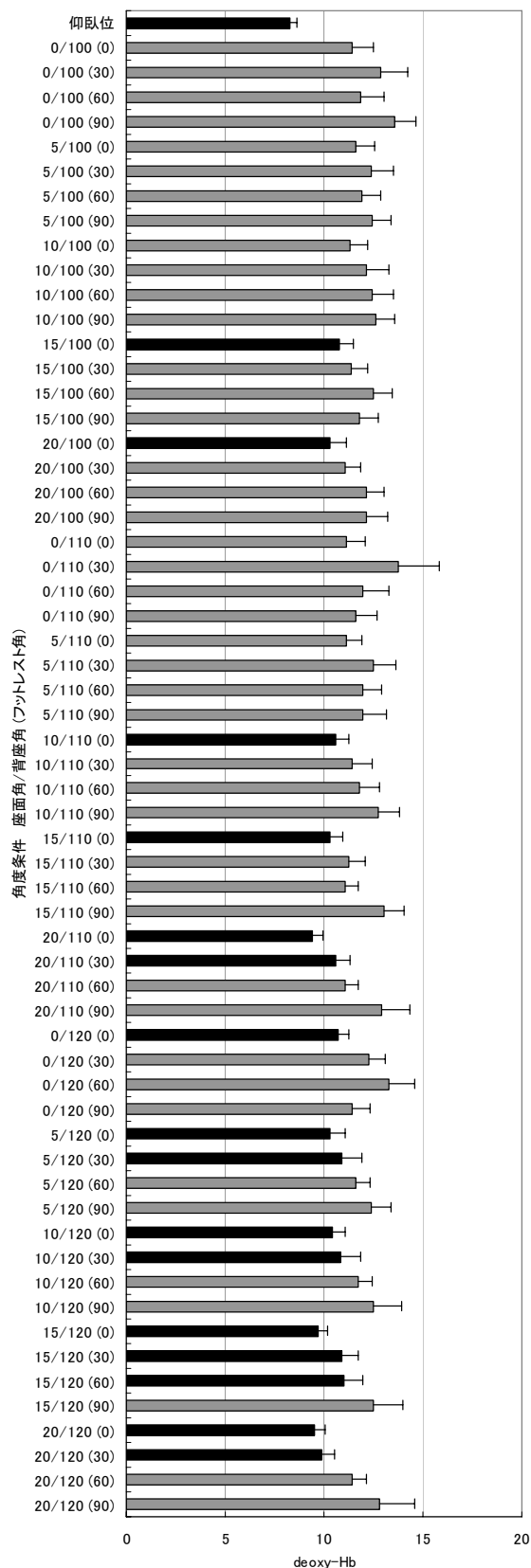
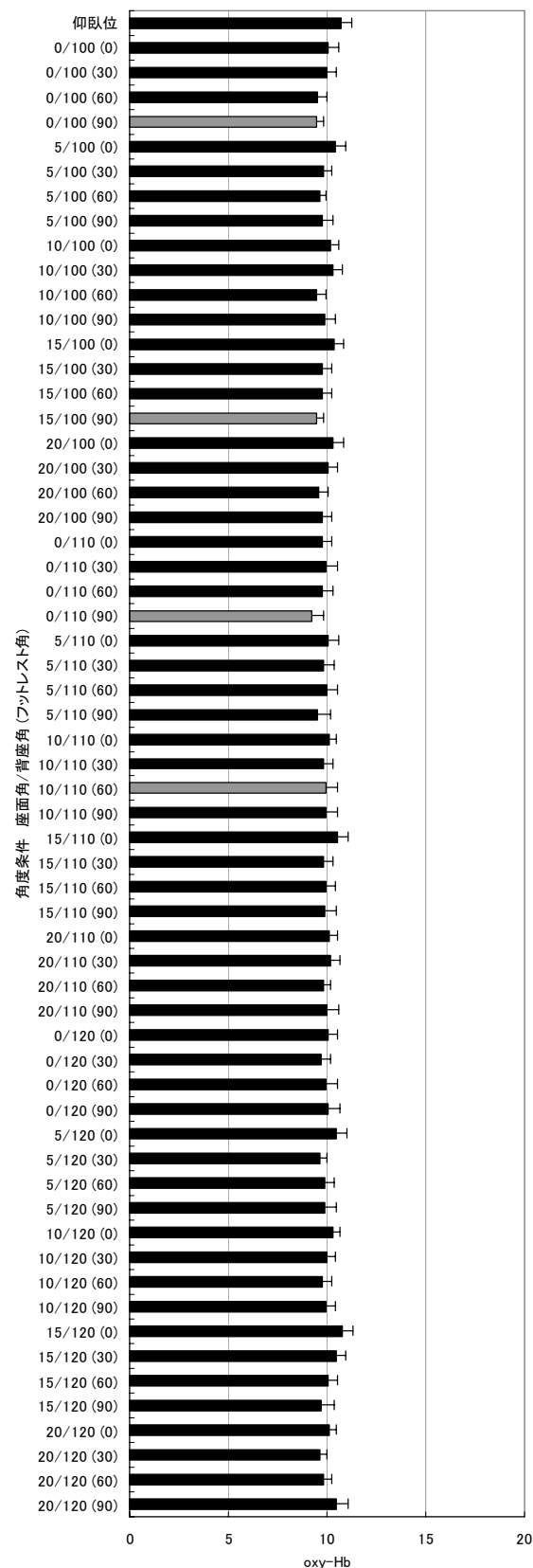


図18 今後の課題



付録1 角度条件によるdeoxy-Hbの変化



付録2 角度条件によるoxy-Hbの変化

座面 角度	背座 角度	フットレスト 角度	下肢の 血行動態	圧力中心 の移動量	頸部の 筋活動	休息性	備考
0	100	0					
0	100	30					
0	100	60					
0	100	90					
5	100	0					
5	100	30					
5	100	60					
5	100	90					
10	100	0					
10	100	30					
10	100	60					
10	100	90					
15	100	0					
15	100	30					
15	100	60					
15	100	90					
20	100	0					
20	100	30					
20	100	60					
20	100	90					
0	110	0					
0	110	30					
0	110	60					
0	110	90					
5	110	0					
5	110	30					
5	110	60					
5	110	90					
10	110	0					
10	110	30					
10	110	60					
10	110	90					
15	110	0					
15	110	30					
15	110	60					
15	110	90					
20	110	0					
20	110	30					以後検討
20	110	60					
20	110	90					
0	120	0					推奨角度
0	120	30					
0	120	60					
0	120	90					
5	120	0					推奨角度
5	120	30					推奨角度
5	120	60					
5	120	90					
10	120	0					以後検討
10	120	30					以後検討
10	120	60					
10	120	90					
15	120	0					以後検討
15	120	30					以後検討
15	120	60					以後検討
15	120	90					
20	120	0					
20	120	30					
20	120	60					
20	120	90					

付録3 実験結果のまとめ

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17報） 休息用椅子における上体の支持方法の検討

藤巻 吾朗^{*1}、安藤 敏弘^{*1}、成瀬 哲哉^{*1}、坂東 直行^{*1}、堀部 哲^{*2}

Research on Comfort Evaluation and Function Design of Wooden Chair
by Ergonomic Technique (XVII)
An estimation of upper body support for chairs at rest

Goroh FUJIMAKI^{*1}, Toshihiro ANDO^{*1}, Tetsuya NARUSE^{*1}, Naoyuki BANDO^{*1} and Satoshi HORIBE^{*2}

後傾姿勢（休息姿勢）をとった際に問題となる上体の支持方法について検討を行った。後傾姿勢では、前方視野を確保するために上体を起こす必要があり、そのため、首や肩に負担がかかりやすい。本研究では、その解決の一案として、上体を胸部から起こす支持方法について検討を進めた。その結果、休息性の高い角度条件（座面角 15 度、背座角 120 度）において、胸部では座面から約 270mm の高さで 10～12 度程度の範囲で屈曲させることが望ましく、頭部では（頸部の負担軽減のための頭部支持に関しては）座面からおよそ 520mm の高さで屈曲させることが望ましいと考えられた。この際の屈曲角度の推奨範囲は求めなかったが、頸椎部での屈曲方向の関節可動域標準値が 45 度程度であることから、座位時では特に問題はないことが考えられた。また、最適な角度条件は用途に依存するため、今回行った実験をもとに、他の角度条件へ応用するための方法論についても検討を行った。

1. 緒言

1.1 研究背景・目的

休息性のみを考えた場合、臥位姿勢に近づくほど休息性は高くなるが、休息用椅子に座った場合は、テレビ鑑賞や読書、会話などの最低限の活動を考慮する必要がある。これらの活動には前方視野を確保することが必要であると考えられ、前方視野を確保しつつ、臥位姿勢に近い姿勢で座れる椅子が休息用椅子にとって望ましい。前方視野を確保しながら上体を後傾させた場合に問題となるのは首にかかる負担であり、首の負担を軽減させることが休息用椅子の重要な課題である。

そのため、本研究では、後傾姿勢（休息姿勢）をとった際に問題となる首の負担軽減を目的とし、上体支持に関する方法論の確立と背もたれ設計

（ハイバック）の推奨値を求める。

1.2 研究の方向性

本研究では、上体を胸部から起こす支持方法について検討を進めていく（図1）。

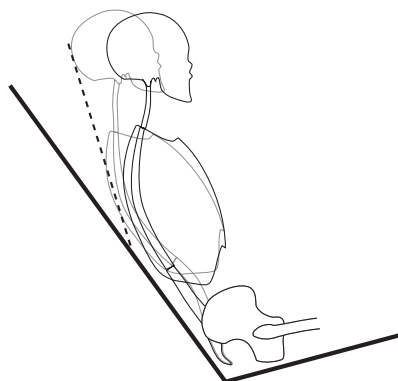


図1 胸部支持での着座姿勢

^{*1} 試験研究部（シミュレーション研究室）

^{*2} 総合企画部研究開発課

上体を胸部から起こした場合、心臓の高さの変化は小さく、股関節や膝関節の屈曲角の変化がほとんどないため、下肢の血行動態への影響は小さい。また、胸椎部と頸椎部の屈曲角度が小さくなり、頭部の適切な支持とあわせることで、首にかかる筋骨格系の負担を軽減することができる。

1.3 研究フロー

胸部から頸部、頭部にかけて上体を屈曲させて支持する際の屈曲位置や屈曲角度を検討するにあたり、図2に示したような流れで研究を行った。

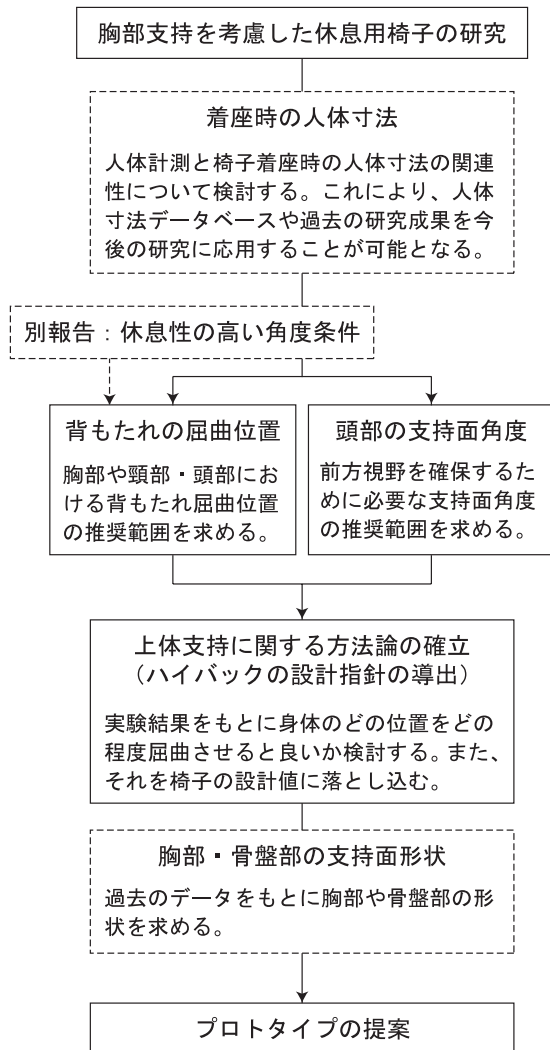


図2 研究フロー

2. 着座時の人体寸法

2.1 目的

人体計測の値と実験椅子着座時の人体寸法との関係を調査する。

2.2 方法

20名の被験者を対象に図3に示した ~ の項目について人体計測を行った。その後、実験椅子

(座面角15度、背座角120度)に着座してもらい、 ~ に該当する人体寸法を計測した。

身長	座位肩胛骨下角高
体重	座位肩峰高
座高	座位頸椎高
座位胸骨下縁高	壁面・肩峰距離

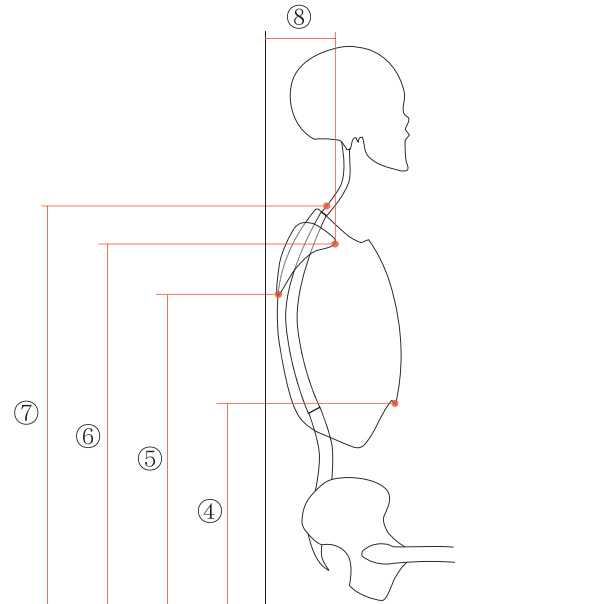


図3 人体計測部位

2.3 結果・考察

人体計測時と実験椅子着座時の計測結果を図4に示す。図中の基準線は、人体計測と実験椅子着座時の値が等しいことを示す。なお、実験椅子着座時の測定値は背もたれ面に対しての水平距離とした。壁面・肩峰距離以外の部位については、人体計測時に比べて実験椅子着座時は値が小さく、基準線とほぼ平行であった(図5)。

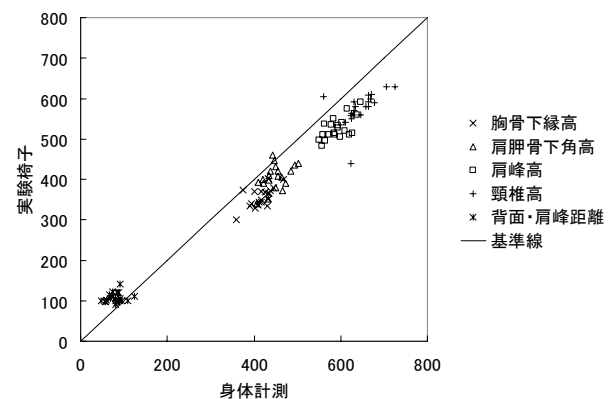


図4 人体計測時と実験椅子着座時の人体寸法 (計測部位別)

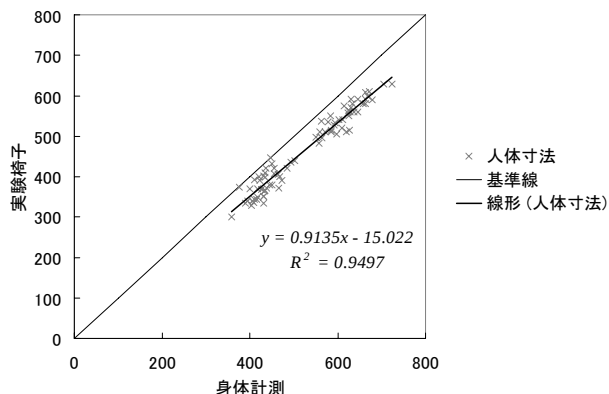


図5 人体計測時と実験椅子着座時の人体寸法

これは、上体の位置関係があまり変化しないことを示していると考えられ、背もたれに対しての位置の変化は骨盤の後方への回転によるものであると考えられた。(実際には、上体の屈曲や伸展により、脊柱の長さに変化はあるのだが、椅子設計においては基本的にはあまり大きな影響がないと考えられた。)骨盤は座骨結節部付近を中心に回転し、上後腸骨棘付近で背もたれと接触する。人体寸法データベースや過去の研究成果より、背座角度が90度であった場合、座骨結節部は座面の後端から130mm付近であり¹⁾、上後腸骨棘は座面から150mm～190mm付近の高さであると考えられた²⁾。そのとき座骨結節部と上後腸骨棘とを結ぶ直線は約230mmであり、背もたれと上後腸骨棘が接触する位置は、座骨結節部を中心にした半径230mmの円周上付近となると考えられた(図6)。

この法則に従うと、背座角度が90度と120度の時の背もたれと上後腸骨棘の接触位置の差は約54.2mmである。人体計測と実験椅子着座時(背座角120度)の差の平均が60.5mm(SD: 23.05)であったことから、この法則の妥当性が示唆された(図7)。

3. 実験1：背もたれの屈曲位置

3.1 目的

胸部から頸部にかけて上体を起こす際の背もたれ屈曲位置の許容範囲を求める。

3.2 方法

実験椅子(座面角15度、背座角120度)に腰掛けてもらい³⁾、3条件の屈曲角度(10度、20度、30度)について、その位置を座面からの高さ200mm～700mmの範囲で上下させた。被験者には不快を感じるか感じないかを口頭で回答してもらい、屈曲角度ごとに不快を感じない範囲を求めた。被験者は20名であった。

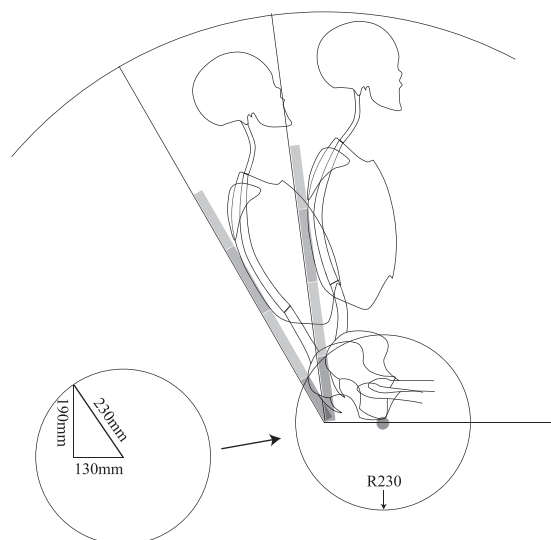


図6 椅子着座時の人体寸法の変化

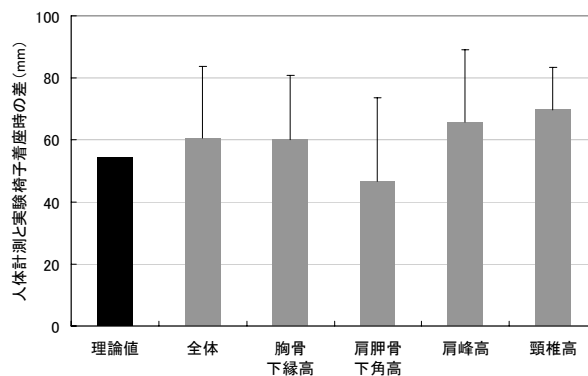


図7 理論値と実測値での位置の変化の違い

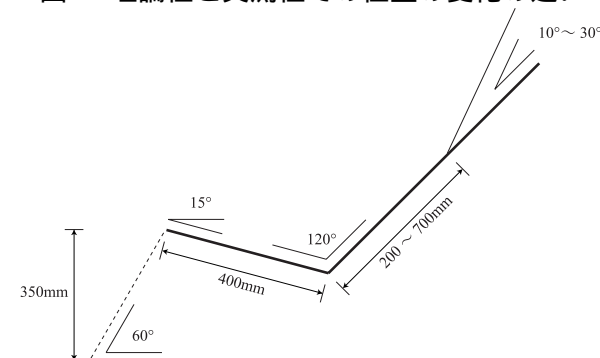


図8 実験概要図(屈曲位置)



図9 実験風景(屈曲位置)

3.3 結果・考察

屈曲角度ごとの結果を図10～12に示す。図中の線の濃くなっている範囲が多くの変験者が不快を感じなかった範囲であり、線の薄い範囲は多くの変験者が不快を感じた範囲であった。また、結果の詳細については付録1～3として添付する。なお、図中の線の引いてある部分が不快を感じなかった範囲であった。

屈曲角10度については、広い範囲で不快を感じなく、全ての範囲で不快を感じないという変験者も4名いた。しかし、胸骨下点付近から肩胛骨下角にかけては不快を感じる傾向がみられた。最も多くの人々が不快を感じなかったのは280mm付近であった。これは、胸骨下点の高さのやや下部に位置しており、胸骨下点のほぼ真裏が第10胸椎であると言われていることから、第11～12胸椎（胸椎と腰椎の境であり、胸椎の中では可動性が高い）付近にあたるのではないかと考えられた。

屈曲角20度については、屈曲角10度に比べてより顕著に胸骨下点付近から肩胛骨下角にかけて不快を感じる傾向がみられた。また、胸椎下角のやや下部での支持も不快を感じるひとが多かった。最も多くの人々が不快を感じなかったのは520mm付近であり、これは肩峰付近の高さと一致することが確認された。肩峰付近は肩胛骨の上部とほぼ同じ高さであり、肩胛骨が適切に支持されるのではないかと考えられた。

屈曲角30度については、肩峰付近の高さより下の範囲については、ほとんどの人が不快と答えた。最も多くの人々が不快を感じなかったのは、屈曲角20度と同様に520mm付近であった。

屈曲角度が10度以下であれば、第11～第12胸椎付近に屈曲点があるとよいと考えられ、屈曲角度が20度以上であれば、腰部や胸部に屈曲点がなく、肩峰のやや下部（肩胛骨上部）に屈曲点があるとよいと考えられた。屈曲角度に関係なく、第10胸椎から肩胛骨下角にかけてと肩峰より上部に屈曲点がない方がよいことが確認された。

屈曲角度が20度以上で第11～第12胸椎付近に屈曲点がないほうがよい理由として、第10～第11胸椎間、第11～第12胸椎間の関節可動域が10度前後であることが考えられた^{4)～6)}。10度を越えた角度で屈曲させると、腰椎で屈曲が起こり、そのため、背もたれの屈曲位置と身体での屈曲位置に差がある。また、ひとによっては腰椎が屈曲することで背もたれに当たってしまうこともある。このような理由から、第11～第12胸椎付近で背もたれを屈曲させる場合は、屈曲角度を10度前後におさえることが望まれる^{7,8)}。

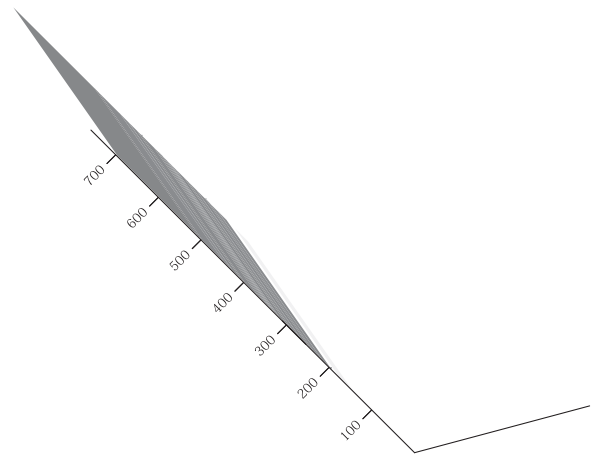


図10 実験結果（屈曲角10度）

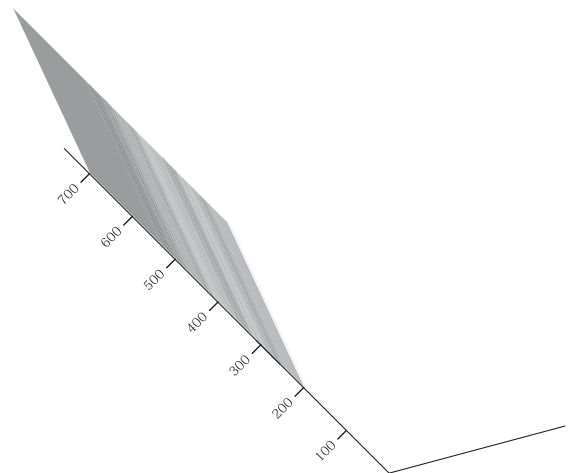


図11 実験結果（屈曲角20度）

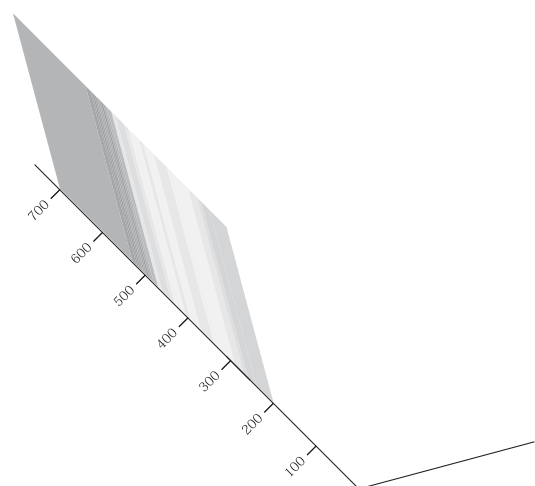


図12 実験結果（屈曲角30度）

4. 実験2：頭部支持面の角度

4.1 目的

前方視野を確保するために必要な支持面角度の許容範囲を求める。

4.2 方法

座面角度0度、背面角度90度の条件で背もたれに頭をつけて着座してもらい、前方を見てもらった。その状態で、背もたれを徐々に倒していき前方が見づらくなった時の角度を記録した。被験者は20名であった。

4.3 結果・考察

頭部支持面角度についての結果を図15に示す。図中の線の濃くなっている範囲が多くの被験者が楽に前方視野を確保できた範囲であった。結果の詳細については付録4として添付する。なお、図中の線の引いてある部分が不快感や違和感なく前方の視野を確保しやすい範囲であった。

頭部支持面が100度～105度であれば、全ての被験者が問題なく前方を見ることができると確認された。

頭部支持面の角度については、個人差が大きかった。これは、頭を背もたれにつけた時の頭部の角度にすでに個人差があり、視角度が異なっていたこと、さらには、普段から下方をみることになれている人がいたためであったと考えられた。

また、背もたれに頭をつける姿勢に違和感を覚えた被験者も数名みられ、頭部支持面の前後位置が関係していると考えられた。前後位置については個人差が大きく、枕等の使用により、ある程度の改善は見込まれるものの、設計上の推奨値を求めることは困難であることが推測された。

5. まとめ

5.1 上体支持に関する方法論（背もたれ設計の推奨値）

以上のことから、上体支持に関する方法論を図16のようにまとめることができる。

前述したように、身体の背もたれに対する位置は背座角度により変動する。背座角度が小さくなると身体の背もたれに対する位置は高くなり、背座角度が大きくなると身体の背もたれに対する位置は低くなる。これは主に骨盤の回転によるものであると考えられるため、骨盤部と背もたれとの接触位置が特定できれば、その他の背もたれの屈曲点である第11～12胸椎や肩胛骨上部についても把握することが可能となる。

人体計測の結果から、骨盤部と背もたれの接触位置は、座骨結節部（座面後端から130mm程度）を中心にR230mmの円周上付近にあることが考え

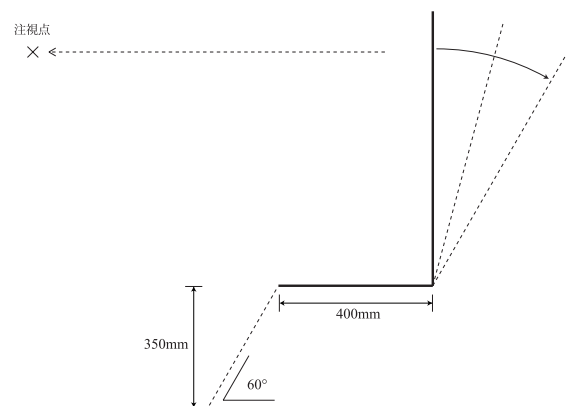


図13 実験概要図（支持面角度）



図14 実験風景（支持面角度）

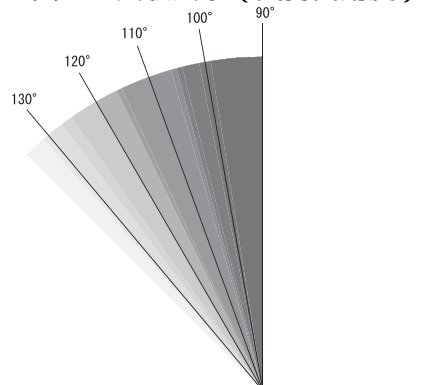


図15 実験結果（頭部支持面の角度）

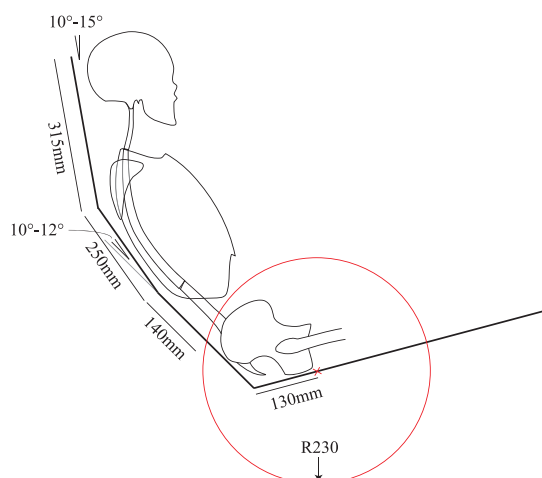


図16 上体支持に関する方法論（設計指針）

られた。また、特徴点間の距離を割り出したところ、骨盤部支持点から第11～12胸椎については約140mmであり、第11～12胸椎から肩胛骨上部については約250mm、肩胛骨上部から頸部・頭部については約315mmであることが考えられた。なお、これらの寸法値は人体寸法の平均値や一般解をもとに推測しており、商品ターゲットを定めることができれば、それに応じてより適した寸法値を求めることができると考えられる。

背もたれの屈曲角度については、第11～12胸椎付近で10～12度以下にするのが望ましく、肩胛骨上部で地面から100～105度程度にすると前方の視野が確保しやすい。肩胛骨上部から頭部の屈曲角の推奨値は求めているが、頸椎での屈曲方向の関節可動域の標準値は45度程度⁵⁾⁶⁾であることから、一般的な座位の条件では特に問題はおこらないことが考えられた。

5.2 プロトタイプ提案（直線）

実験結果をもとに図17のような休息用椅子のプロトタイプを提案することができる。座面の奥行きについては、先行研究をもとにすると、420mm程度がよいと考えられた⁹⁾。

5.3 支持面形状の検討

曲線形状にすることで、接触面積が増し、快適性が向上すると考えられる。腰部については、可動性が高く、形状も大きく変わるため、推奨される形状を求めることは困難であるが、胸部や骨盤部については、基本となる形状の変化はほとんどなく、基本となる形状を求めることで、様々な応用が可能になると考えられる。

ここでは、先行研究において測定した背面形状の測定結果をもとに胸部・骨盤部の形状を求めた¹⁰⁾。先行研究では、座面角2.5度、背面角100度の条件で被験者に座面の奥まで腰掛けてもらい、30mm～890mmの範囲の背面形状を20mmの間隔で測定した。

胸部については、第10胸椎が310mm付近にあると考えられ、座位頸椎高（第7頸椎の高さ）の5%ile値が586mmであることから²⁾、310mm～570mmのデータを使用し、二次元の多項式近似により形状を求めた。また、骨盤部については、座位上後腸骨棘高が大きな人で約190mmであることから²⁾、30mm～190mmのデータを使用し、二次元の多項式近似により形状を求めた（図18）。

求めた形状について、設計で使用するR形状を当てはめたところ、胸部でR500程度、骨盤部でR400程度であった（図19）。

5.4 胸部・骨盤部の支持面形状とその利用

胸部・骨盤部の基本的な形状を求めたが、ここ

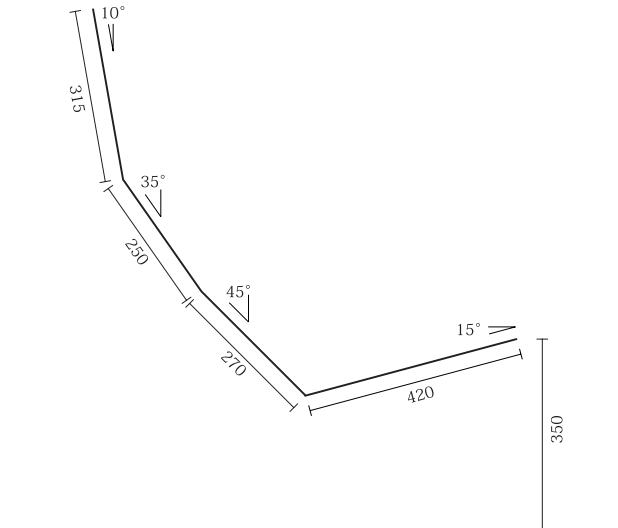


図17 プロトタイプ寸法値（直線）

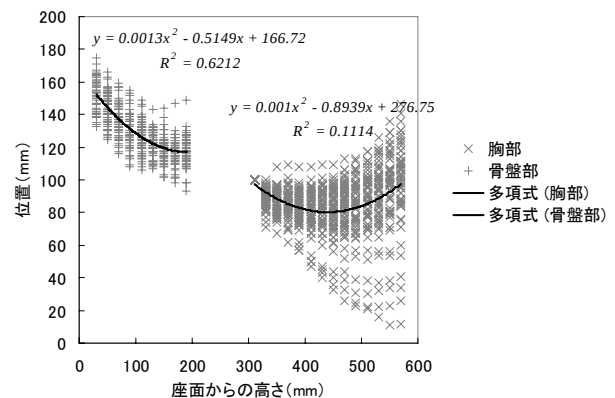


図18 胸部・骨盤部形状の検討

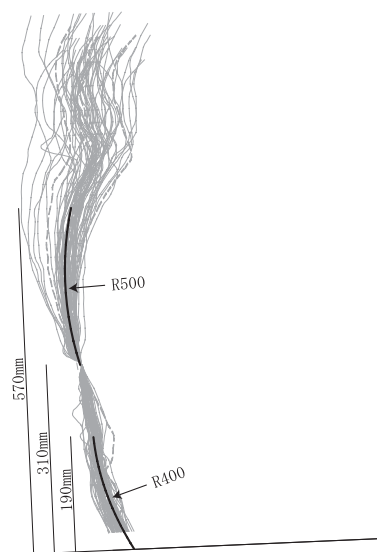


図19 胸部・骨盤部の支持面形状

では、それらを椅子の設計に利用する方法について記述する(図20)。現時点では、まだ仮説であり、検証がされていないため、ひとつの考え方として、参考程度に留めていただければと思う。

骨盤部については、座面後端から130mm付近を中心とし、求めた形状と背もたれとが接触する位置まで回転させる。胸部については、第11～12胸椎付近を中心に10度以内で上部が屈曲する方向に回転させる。この際、骨盤部形状の上端部分が背もたれの基準となる直線上からはみ出すことがあるが、腰部を積極的に支持する場合は、求めた骨盤部形状の上端部分から胸部の間を滑らかな曲線で結ぶと良いと考えられ、腰部支持をあまり必要としない場合は、骨盤部形状と背もたれの接触した位置から胸部の間を直線で結ぶと良いと考えられる。

骨盤部と胸部を支持することで、腰部は安定するため、腰部の積極的な支持はあまり必要がない

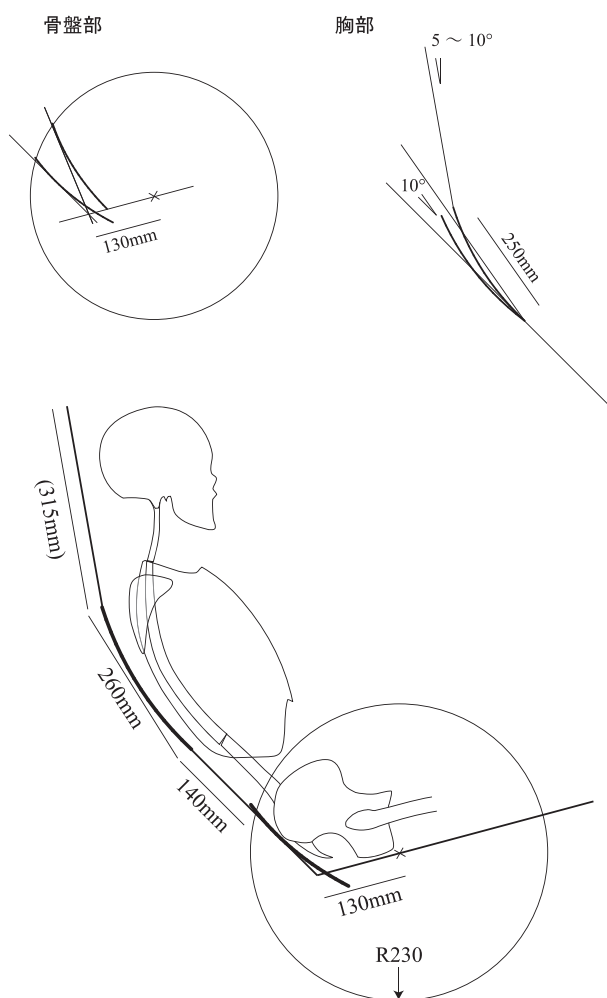


図20 胸部・骨盤部の支持面形状とその利用

ことが考えられる。また、身体の動作性や姿勢変化を考えた場合、骨盤部、胸部に加え腰部を支持すると、姿勢が固定されてしまうため、長時間座るときには腰部を支持しない方が腰椎の動きが抑制されず、腰部の負担軽減につながることも考えられる。

5.5 プロトタイプ(曲線)

胸部・骨盤部の形状使用した休息用椅子のプロトタイプを図21、図22に示す。

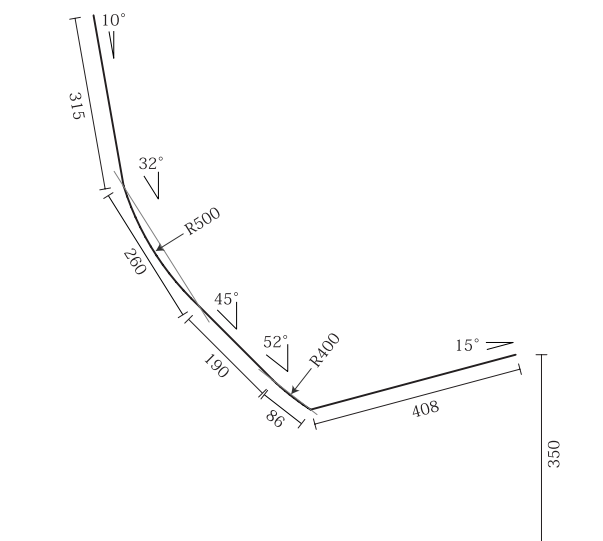


図21 プロトタイプ寸法値(曲線)

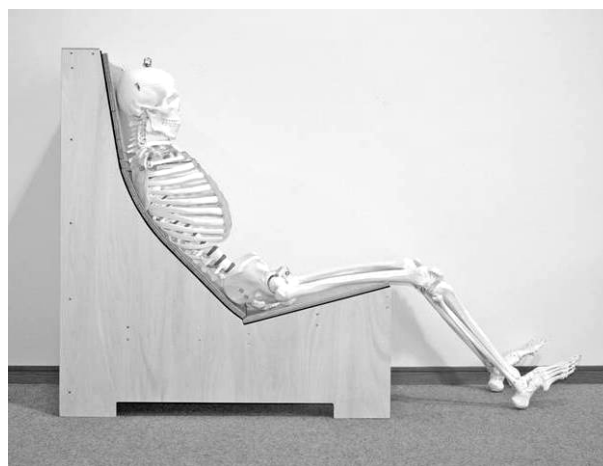


図22 プロトタイプ(曲線)

5.6 様々な角度条件への応用

最適な角度条件は用途に依存するところが大きいと考えられる¹¹⁾。前述した方法に従うことで、論理上は様々な角度への応用が可能である。図23～図25に例を示す。

5.7 留意点および今後の課題

(1) 背骨のS字の問題¹²⁾

本報告で提案したプロトタイプは背骨のS字を保つような構造ではない。一般的に腰痛を防ぐには、腰椎部を積極的に支えて背骨のS字を保つことができる椅子が良いと思われる。しかし、この理論に反対する報告もいくつかあり、S字姿勢を保つことが良いか悪いかについては、意見が分かれる。また、これらの報告は椎間板にかかる負荷や変形を問題としているものが多いが、そもそも腰痛患者の85%は腰痛が起こる原因がわからないままである。このような現状の中、背骨のS字を保つことに捕われず、身体をどう支えるべきかについて今後も検討する必要がある。

(2) 体格差の考慮

今回は一般解としての指針を求めたが、個人でみた場合には、よりよい条件が存在する。商品ターゲットが決まっているときや、オーダーメイドの場合には、人体寸法データベースや個人の人体寸法をもとに体格に合わせた設計を行うことができるため、状況に応じて調整を行うことが重要となってくる。

(3) 骨盤部・胸部形状とその利用

特に胸部形状については、近似曲線の当てはまりがよくないため ($r=0.34$)、検討の余地が残る。また、その利用方法については、現時点では仮説段階であり、今後検証を行う必要がある。

(4) 用途に応じた角度条件

考察された方法に従うことで、論理上は様々な角度への応用が可能である。しかし、無限に考えられる角度条件に対しての検証はできないため、これは目安にはなるものの、試作段階での微調整が重要となる。

(5) 姿勢の自由度、動作性

今回は身体の安定性や生理的にみてよい条件をもとに設計指針を求めた。しかし長時間着座や実際の使用場面では、姿勢の自由度や動作性も身体にかかる負担を軽減させる上で重要な因子であると、作業用椅子においては言われている。これらの因子が休息用椅子においても重要となるかは不明であるが、今後、検討の余地が残る。

謝辞

本研究に協力いただきました早稲田大学野呂研究室の皆様、ならびに実験に協力いただきました飛騨国際工芸学園の皆様に感謝いたします。

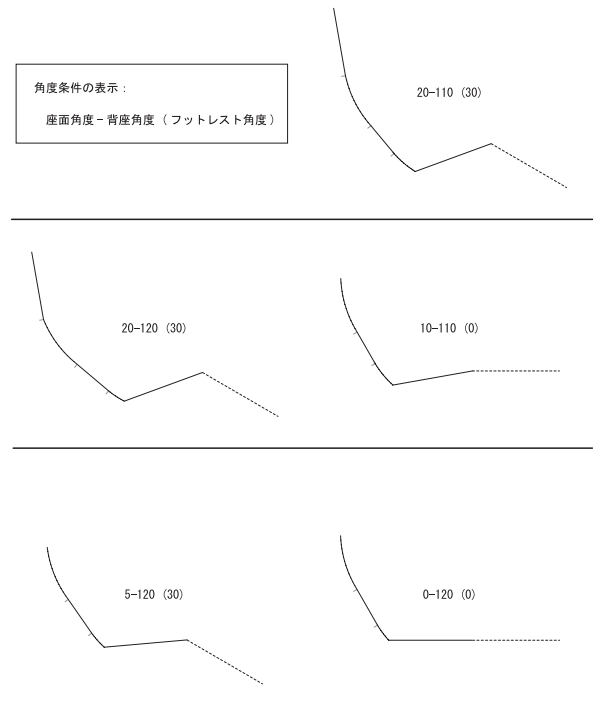


図23 様々な角度条件への応用例



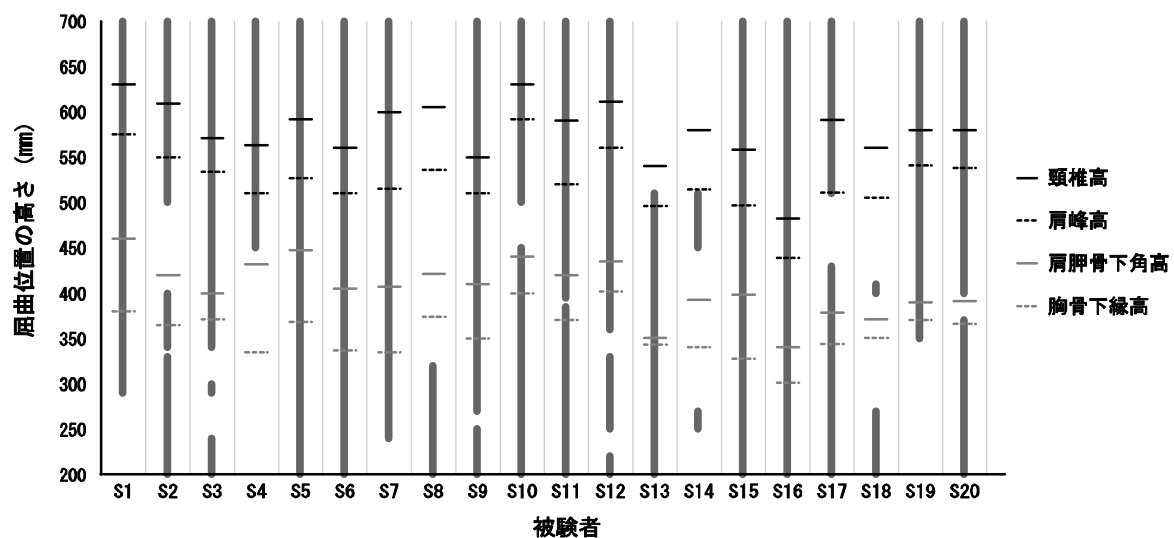
図24 応用例 (座面角20度 / 背座角120度)



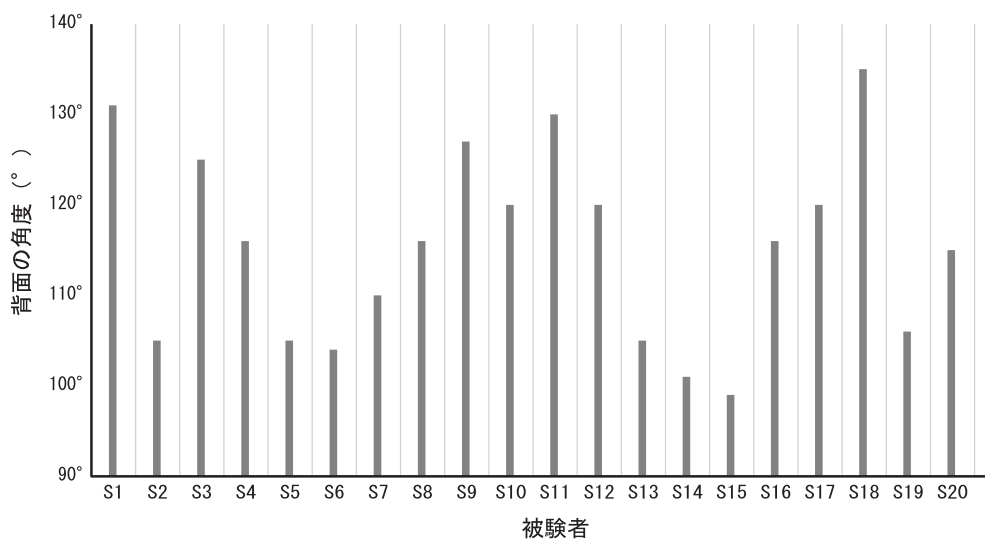
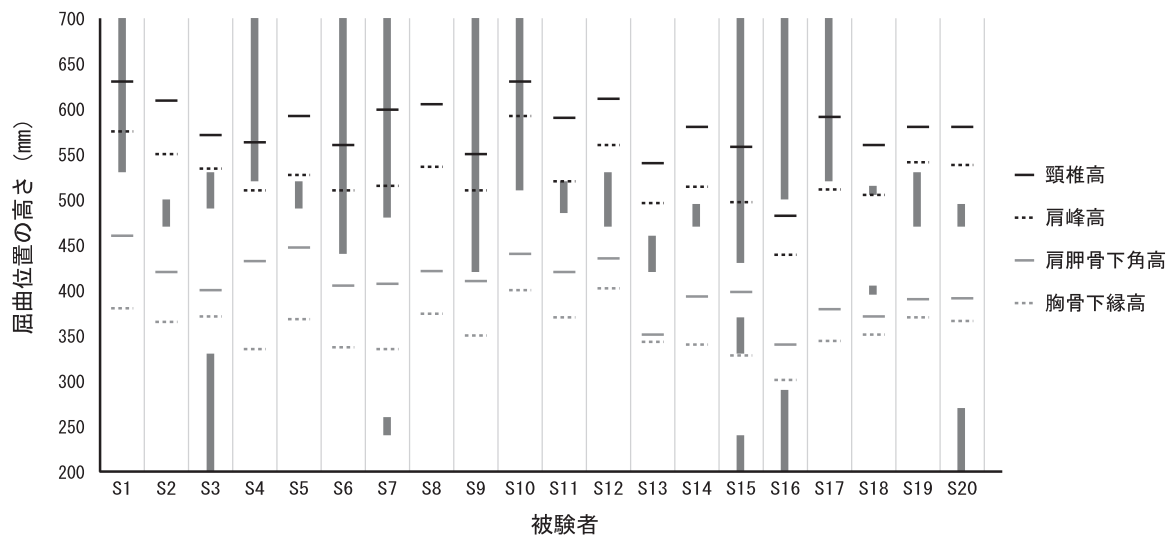
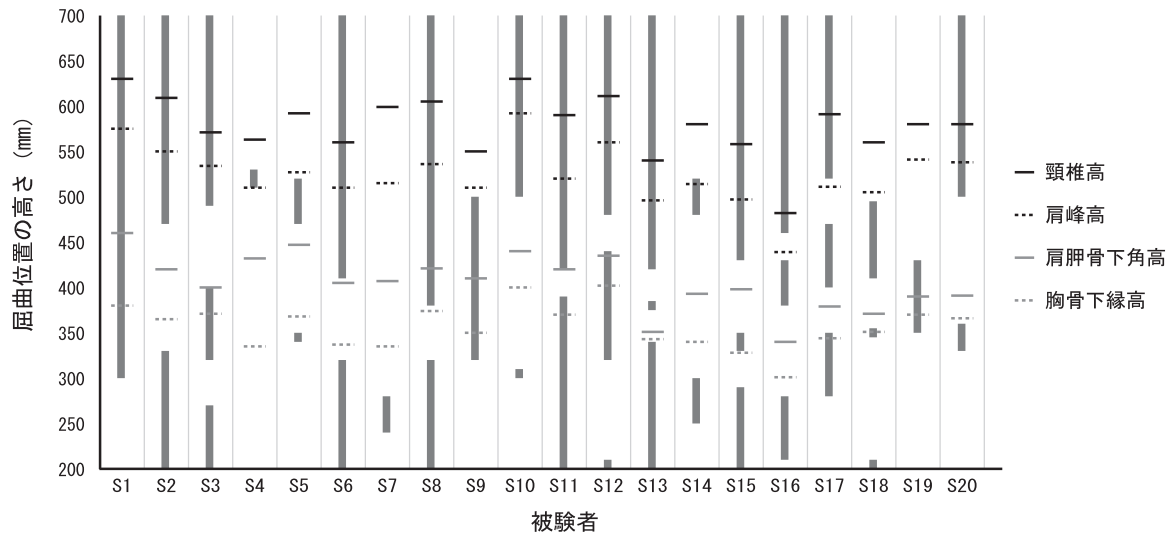
図25 応用例 (座面角20度 / 背座角110度)

参考文献

- 1) 成瀬哲哉他：岐阜県生活技術研究所研究報告，No.7，pp.21-27，2005．
- 2) 通商産業省工学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．
- 3) 藤巻吾朗他：岐阜県生活技術研究所研究報告，No.9，pp12-19，2007．
- 4) <http://freett.com/shoq/igaku/u-taikan.html>
- 5) I.A.Kapandji，荻島秀男 監訳，嶋田智明 訳：カパンディ関節の生理学 体幹・脊柱，医歯薬出版株式会社，1986．
- 6) N.B.Reese，W.D.Bandy，奈良勲 監訳：関節可動域・筋長検査法，医歯薬出版株式会社，2005．
- 7) 花井利通，松岡由幸：安楽姿勢に関する研究，自動車技術，Vol.41，No.11，pp.1275-1279，1987．
- 8) Y.Matuoka，T.Hanai，Study of Comfortable Sitting Posture，SAE 880054，pp.1-8，1988．
- 9) 安藤敏弘他：岐阜県生活技術研究所研究報告，No.7，pp.4-8，2005．
- 10) 藤巻吾朗他：岐阜県生活技術研究所研究報告，No.8，pp.12-18，2006．
- 11) 成瀬哲哉他：岐阜県生活技術研究所研究報告，No.7，pp.28-32，2005．
- 12) 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．



付録1 屈曲角10度における屈曲位置の許容範囲



障がい児の心身の発達成長を促す教具の開発

木村 公久^{*1}、関 範雄^{*2}、長谷川 良一^{*3}

Study on Teaching Tools to Support Growth of Disabled Children (IV)

Kimihisa KIMURA^{*1}, Norio SEKI^{*2} and Ryoichi HASEGAWA^{*3}

障がい児療育施設からのアイデアを基に開発を行ってきた教具の中より、ビー玉のいろいろな動きが子どもたちに人気のあったマールコースターと、感覚統合訓練において多くの施設で導入されているスイング系遊具であるスイングボードについて、モニタリング評価の結果から実用化に向けた機能およびデザインの改良を行った。

比較的好評であった他の開発品についても、より安全で楽しく遊ぶことができるように改良を行い、療育施設等への普及を目指した取り組みを行っている。

1. 緒言

子どもは遊びを通していろいろなことを学び、発達していく。しかし、発達に遅れや障がいのある子どもは、心身的な理由等からおもちゃを使った遊びが十分にできないこともあり、遊ぶことをやめてしまう子どもも見られる。

障がい児療育施設では、子どもの発達段階に合わせて、おもちゃや教材を用いた指導を行っている。その指導に用いられているものの大半は市販のおもちゃであったが、より使い勝手の良いものにするためや指導目的に合わせるため、職員が教材を自作している施設もあった。また、「こんな教材があったらいいな」という意見も多く得られ、おもちゃを中心とした教具の開発を行ってきた。これらの開発教具は、施設の子どもたちに実際に遊んでもらうことにより、機能およびデザイン的な評価も行ってきた。

今回は、モニタリング評価で得られた結果から改良を行った教具について報告する。

2. 改良型の試作

県内外の療育施設にて開発教具のモニタリング評価を依頼し、保育や訓練の中で実際に導入して

もらうことにより、子どもたちの反応やセラピストの感想および意見を得た。モニタリング評価の結果からは主に機能や安全面での問題点が得られ、それらの改善を図るために再設計と、動作確認を行うために改良型の試作を行った。改良を行ったのはマールコースターとスイングボードの2点であり、以下にそれぞれの問題点と改良型の特徴について述べる。

2.1 マールコースター

ビー玉を転がすおもちゃは子どもたちに大変人気がある。このタイプのおもちゃは店頭で見かけるが、比較的に単純な動きのものが多かった。そこで、ビー玉の動きの変化をより楽しんでもらうために、コースにジャンプ台やロウト、羽根車などを取り付け、ジェットコースターのように立体的にしたものを開発した。大きさは、幅730mm×高さ470mm×奥行き190mmである。

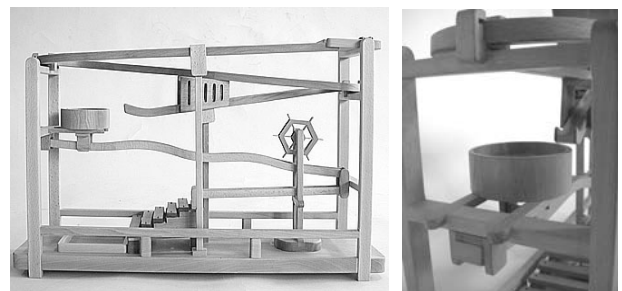


写真1 全体図 (左) とロウト (右)

^{*1} 試験研究部 (生活支援機能研究室)

^{*2} 産業技術センター紙研究部

^{*3} 試験研究部 (木質材料研究室)

2.1.1 プロトタイプの問題点

ビー玉が動きを変えながら転がっていく様子に強い関心を示して、夢中になってビー玉を自分で転がそうと楽しんでいる様子が見られた。しかし、以下の問題点があった。

- ①コースの寸法が大きいため、子どもの視界からビー玉が出てしまい、しっかりと注視および追視することができないことがあった。ビー玉の動きが急に早くなったりすることも、最後まで追視することができない要因となった。また、ビー玉を置くステージが高すぎてそこに乗せることができず、コースの途中からビー玉を転がす子どもがいた。
- ②ロウトの中を比較的に長い間ビー玉が回転するため、落ちるまで待ちきれずに回っているビー玉を掴もうとしたり、他のビー玉に目移ってしまうことがあった。また、身長の高い子どもが本体側面から見た場合には、ロウト内のビー玉の回転が見えず、視線をずらしてしまう要因となった。
- ③ビー玉の動きの多様化を図るため、コースに曲線を取り入れるなどの工夫を凝らした。そのため構造が複雑になってしまい、加工時間やコストの面から量産は難しい。

2.1.2 改良型の特徴

以下に改良型の特徴を述べる。

- ①子どもの視野にコース全体が収まるように、幅 400mm×高さ（ステージ）320mm×奥行き260mmとひと回り小さめに設計した。ビー玉の転がる速さを押さえる方法として、加速度が増す曲線コースから比較的一定の速さで転がる直線コースに変更し、その傾斜は5度とした。
- ②木製ロウトから透明である市販のプラスチック製ロウトに交換した。これにより横、下方向からもロウト内のビー玉の動きをはっきり見ることが可能である。また回転時間も短くなり、ビー玉を掴もうとしたり、視線をそらす行為を押さえられると考える。

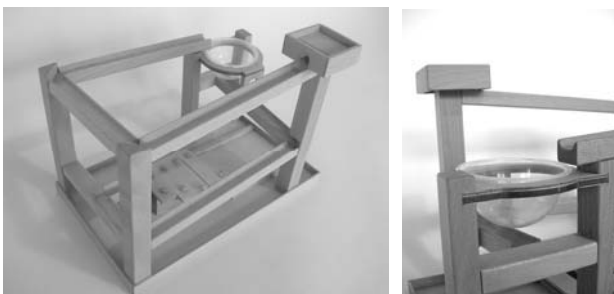


写真2 全体図（左）とロウト（右）

- ③コースを曲線から直線に変更したことは、加工工程の簡略化や時間の短縮にも繋がった。曲線コースは、薄板に積層曲げの壁を張り合わせて作っていたため、加工に少々時間を要した。しかし直線コースは、コース用に切り出した材料を高速度ルータで溝を掘り、傾斜をつけてカットする比較的簡単な加工ですむため、工程の簡略化が図れ、量産も可能となる。

2.2 スイングボード

スイング系遊具をより重度の子どもに対応する工夫として、臥位姿勢で乗れるようにボードを広く改造したブランコがいくつかの施設で見られた。感覚統合訓練ではこのようなスイング系遊具は必須アイテムであり、天井から吊り下げる等の大掛かりな設備を必要とする。そのような設備がない施設でも容易に導入を可能とするコンパクトなものを開発した。本体の高さは約1000mm、梁から4本のロープが吊り下がっており、そこにボードを取りつける構造である。ボードの大きさは幅 600mm×奥行き900mm、表面にはクッション材を貼り、直接臥位姿勢で乗ることが可能である。

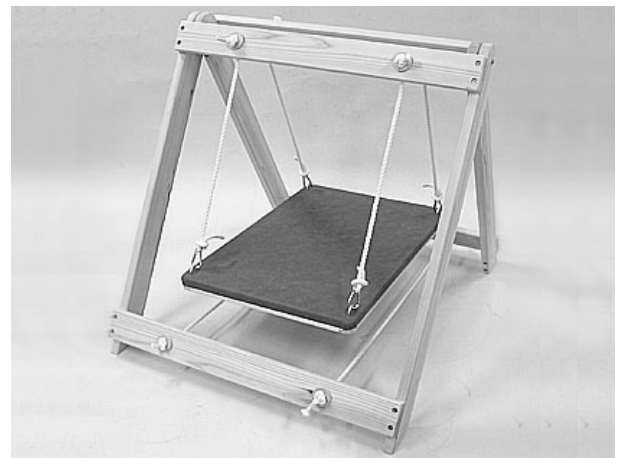


写真3 全体図

2.2.1 プロトタイプの問題点

モニタリングを行った養護学校の教室に吊り下げ設備はなく、スイング系の動きを容易に体感できることに好評であった。しかし、プロトタイプは就学前の子どもを対象として試作したため、同学校では以下の問題点があった。

- ①高学年には体格の良い児童もいるため、本体が小さいことによる揺れの物足りなさ、また梁に頭をぶつけそうになる等の危険性を感じた。
- ②臥位姿勢で使用する場合に頭や足がボードから出てしまい、揺動時に床や支柱に当たったり、

身体がボードからずれ落ちそうになることもあった。

- ③ロープとボードの取り付け部品として用いたカラビナとU字金具がむき出しになっているため、指を入れて怪我をする危険性がある。

2.2.2 改良型の特徴

以下に改良型の特徴を述べる。

- ①質感や外見の良さ、また教室内の雰囲気に合わせての理由で木製を希望されたため、大きさは材料の関係で作ることが可能であった高さ1500mm×幅1600mm×奥行き1800mmとプロトタイプ約1.5倍にした。そのため、プロトタイプでは軽量化を図るためにスギを使用していたが、改良型は強度を増すために30mm厚のブナ無垢材を用いた。また揺動時における支柱の安定性を増すため、床と支柱の角度は60度に広げた。
- ②児童が臥位姿勢で乗った時にボードから頭と足が出ない寸法として、幅800mm×奥行き1600mmと奥行きの寸法を長めに設計した。ボードの土台は、強度と軽量化を考慮し12mmラワン合板にスギの枠を取り付けた構造にし、さらにL字金具等で補強を施した。ボード上部には衝撃を和らげるために20mm厚のクッション材を敷き、表面は汚れ防止としてビニールレザーで覆った。この構造で耐荷重試験を行い、200kgまで耐えられることを確認した。また、ボードと支柱の間隔を400mmに広げ、頭や足がぶつかる可能性を低くした。ずれ落ち防止策としては、ボードの端に高さ50mmのクッション材のみの壁を設置し、より安心して乗れるように配慮した。
- ③金具全体をプラスチック製容器でカバーすることにより、指の挟み込み防止を図った。このカバーはボードと同じビニールレザーで覆い、違和感がないように配慮した。ボードの脱着は、このカバーを上下にスライドさせて行う。この他に、座位姿勢や仰向け姿勢で乗ったときのバランス保持補助具として、梁の中央にグリップを取り付けた。



写真4 全体図（左）とボード取り付け部（右）

3. まとめ

療育施設におけるモニタリング評価の結果から、機能およびデザインの改良を行った。以下にまとめを述べる。

3.1 マーブルコースター

プロトタイプはビー玉の動きの変化を楽しんでもらうことを目的として試作したため、構造が少々複雑になり注視および追視、量産性が難しい等の問題点があり、その簡略化を目的として改良を行った。コースを曲線から直線にすることにより、ビー玉の転がる早さを押さえて追視の容易化を図り、加工面においても簡略化が可能となった。しかし、ダイナミックなビー玉の動きが減少したため、それに代わる付加機能の検討が必要である。

3.2 スイングボード

児童を対象とした感覚統合訓練に使用したいとの要望を受け、より現場のニーズに沿ったものへ改良を行った。支柱やボードの大きさを約1.5倍にすることで児童への対応は可能となったが、木を主材料としたために強度的な問題が発生し、補強材や補助具を取り付けることにより安全性に配慮した。この施設では感覚統合訓練としてのみでなく、子どもの精神安定を図る目的としても利用されており、使用目的の応用が期待される。

上記以外の開発品についても、評価結果に基づいた改良を行い、施設等への普及を目指した実用化に取り組んでいる。

謝辞

本研究の推進にあたり、ご指導をいただいた東洋大学の繁成剛教授に感謝いたします。

また試作品の評価にあたり、ご協力をいただきました療育施設の方々に感謝いたします。

参考文献

- 1) 宮川成門, 木村公久: 岐阜県生活技術研究所研究報告, No.7, pp.33-37, 2005.
- 2) 宮川成門, 木村公久: 岐阜県生活技術研究所研究報告, No.8, pp.42-44, 2006.
- 3) 木村公久, 宮川成門: 岐阜県生活技術研究所研究報告, No.8, pp.45-47, 2006.

環境・資源循環型リグニン素材の開発 健康系リグニン素材

関 範雄^{*1}、原 英彰^{*2}

Design of Ecological and Flowed-Reusable Materials from Lignin
Lignin-based Materials Adapted to Maintaining One's Health

Norio SEKI^{*1}, Hideaki HARA^{*2}

タケから誘導・分離したリグノフェノールをカルボキシメチル (CM) 化した。この水溶性 CM 化リグノフェノール誘導体 (CM-LPD) は、小胞体ストレスによる細胞死 (アポトーシス) に対して、高い抑制作用を示し、細胞に小胞体ストレスを与える虚血様環境下において、10 μ M の添加濃度でアポトーシスを 90% 以上抑制した。さらに、マウスの眼に小胞体ストレスを与え、CM-LPD を直接投与した結果、網膜神経節細胞数および網膜内網状層厚の減少を抑制し、網膜視神経細胞の保護効果が認められた。

1. 緒言

自然界におけるリグニン

生物界・自然界では植物は、生産者として太陽の光をエネルギー源として二酸化炭素と水から光合成を行う。炭水化物 (デンプンやセルロース) を作り、さらに、窒素や各種ミネラルを組み合わせ、タンパク質や脂肪などを作り出す。植物によって作られるこれら栄養は、第一次消費者である草食動物によって利用され、草食動物を次の第二次、三次...消費者の動物が利用する。最終的に生物の死骸やフンなどは、細菌、菌類などの分解者によって分解され、生物を構成していた有機物は、無機物と水と二酸化炭素まで分解され、ふたたび生産者に利用される日まで自然の中を循環する。このような物質循環が自然界には食物連鎖として存在している。生物間では捕食、被食の関係の中で、生物は種を維持するためにお互い共生しなければならない。共生できなければ、バランスが崩れ、自然淘汰される。

植物、特に高度に進化した高等植物は、必ず炭水化物とリグニンの成分から構成され、これら成分は植物としての形状を維持するためには必要不

可欠な成分である。一般的には、前述の食物連鎖のとおり植物の炭水化物やタンパク質、その他微量有機成分は栄養素として利用される。リグニンは食物連鎖には関係のない物質として、植物の形状維持のための物質としてのみ植物から生産され、リグニンは食物連鎖の消費者にとって重要な物質であるとは考えられていない。一方、最も進化している高等植物に必ず 30% 程度もリグニンが含まれることは、植物を捕食する動物にとって望ましいことではなく、リグニンは植物から排除されるべき物質であること、さらに生物界での共生関係を考えると、リグニンを有する植物は自然淘汰されなければならないと考えられる。しかし、実際の自然界では全くの逆でリグニンを含む植物が繁栄を誇っている。つまり、植物を食料とする動物にとって、リグニンが植物に含まれなければならない重要な理由があると考えることができる。

我々は植物に含まれる炭水化物が動物にとってエネルギー源、栄養源であるならば、リグニンは健康維持、体調管理をする重要な機能があるのではないかと仮定した。そして、相分離変換システムによって得られ、天然リグニンの分子構造を高度に保持するリグノフェノールに関し、我々はその水溶性誘導体の様々な生理活性機能を開発してきた。近年では、動物の細胞死 (アポトーシス)

^{*1} 産業技術センター紙研究部

^{*2} 岐阜薬科大学薬科学科生体機能解析学大講座

を保護する機能を見出している^{1,2)}。

視神経細胞のアポトーシス

プログラム化細胞死の一形態であるアポトーシスは、眼疾患における病態に関与することが解明されつつある。例えば、虚血-再灌流による網膜障害³⁾、網膜剥離⁴⁾、網膜色素変性症^{5,6)}、網膜光障害⁷⁾、緑内障^{8,9)}などは、いずれも網膜神経細胞の一つである網膜神経節細胞(RGC)のアポトーシスが関与していると報告されている。つまり視機能障害の原因は多様であるが、結果的に視機能障害は視覚情報ネットワークを構成している神経細胞のアポトーシスによる可能性が高いといえる。そして、網膜神経細胞に対して保護効果を有する物質は、各種の網膜疾患や眼疾患の予防や治療に有用であることが期待される。

本研究では、健康系リグニン素材として水溶性CM化リグノフェノールの細胞死保護機能に注目し、視神経細胞に対する機能について検討を行った。

2. 実験

2.1 健康系リグニン素材（水溶性リグノフェノール）

2.1.1 材料

タケ(*Phyllostachys bambusoides*)粉末を用いた。リグニンに導入するフェノール誘導体として、p-クレゾール、バニリンを用いた。

2.1.2 リグノフェノールの調製

相分離変換システム (Two Step Process -Process II-) を応用した¹⁰⁾。タケ試料の含有リグニン量に対してC₉単位当たり2 mol倍量のリグニン導入フェノール誘導体をエタノールに溶解した。このエタノール溶液をタケ粉末試料に加え、室温で徐々にエタノールを揮発、乾燥させ、フェノール誘導体収着試料を調製した。その後、この収着試料に68%硫酸(4 ml/g粉末試料)を加えた。所定時間攪拌終了後、反応系を大過剰の水に投入、水に投入後の硫酸濃度は5%程度まで低下させた。その時生じる不溶解沈殿物を遠心分離にて分離した。分離した不溶解沈殿物に含まれる硫酸および未反応のフェノール誘導体を取り除くため水で洗浄、遠心分離を繰り返した。その後、この沈殿物を凍結乾燥した。この沈殿乾燥物からリグノフェノールを抽出するため、乾燥物に抽出溶融機溶媒を加え、一昼夜攪拌、不溶解物を遠心分離にて取り除いた後、抽出溶液をエバポレータにて濃縮した。抽出溶液は大過剰のジエチルエーテルに滴下され、そ

の不溶解沈殿物を遠心分離、洗浄し、五酸化ニリン上で減圧乾燥後、各種リグノフェノールを得た。なお、フェノール化合物の導入量はNMR解析により測定し、p-クレゾール、バニリンを導入したリグノフェノールをそれぞれPLD-Cre、PLD-Vanとした。

2.1.3 水溶性リグノフェノールの調製

相分離変換システムによって得られたリグノフェノールをその水溶性誘導体へと変換するため、カルボキシメチル (CM) 化を行った。CM化処理には関らの方法¹¹⁾を応用し、水溶性CM化リグノフェノール (CM-LPD) を得た。なお、カルボキシメチル基量はNMR解析及び水酸化テトラ-n-ブチルアンモニウムを用いた非水系電位差滴定により算出し、p-クレゾール、バニリン導入リグノフェノールのCM化誘導体をそれぞれCM-PLD-Cre、CM-PLD-Vanとした。

2.2 健康系リグニン素材の機能

2.2.1 低酸素・低グルコース (OGD) 誘導性の虚血様細胞死に対する作用

コラーゲンコートされた24ウェルプレート上にPC12細胞を 2×10^5 細胞/ウェルとなるように播種し、10%ウマ血清と5%牛胎児血清を含有させたダルベッコ変法イーグル基礎培地にて2日間培養した。培養2日後、虚血様細胞死を誘導するため、低酸素・低グルコース(OGD)処理を行った。OGD処理としては、グルコースを含有しないダルベッコ変法イーグル基礎培地(溶媒)に培地を交換し、あるいは、培地をCM-LPD(1 μ M、3 μ M、10 μ M、30 μ M)添加のグルコースを含有しないダルベッコ変法イーグル基礎培地に交換し、その後、低酸素処理として雰囲気を94% N₂、5% CO₂、1% O₂条件に変更し、4時間培養した。OGD処理後、1 g/lグルコース、1% 牛胎児血清になるようにグルコースおよび牛胎児血清を培地に加え、18時間培養(37℃、5% CO₂)した。その後、レサズリン還元法により細胞の生存率を算出した。すなわち、培地にレサズリン溶液を加え、1時間インキュベートし、この各群の蛍光強度を測定(励起波長560 nm、蛍光波長590 nm)した。濃青色のレサズリンは生存細胞によって還元されピンク色の蛍光を発するレゾルフィンに変換されるため、蛍光強度が生存細胞数に相関する。OGD処理を全く行なわなかったコントロールの蛍光強度を細胞生存率(100%)として、各群の蛍光強度との差から対照群に対する各群の生存率を算出した。

2.2.2 Tunicamycin誘導細胞死に対する作用

コラーゲンコートされた96ウェルプレート上にPC12細胞を 2×10^5 細胞/ウェルとなるように播種

し、10 % ウマ血清と5 % 牛胎児血清を含有させたダルベッコ変法イーグル基礎培地にて2日間培養した。培養2日後、培地を1%牛胎児血清を含有させたダルベッコ変法イーグル基礎培地（溶媒）に交換し、あるいは、培地をCM-LPD（1 μ M、3 μ M、10 μ M、30 μ M）添加の1%牛胎児血清含有ダルベッコ変法イーグル基礎培地に交換した。培地交換の1時間後、培地中のTunicamycin濃度が2 μ g/mlになるようにリン酸緩衝食塩水（0.1 % ジメチルスルホキシド含有）で希釈しながらTunicamycinを投与し、24時間培養（37 $^{\circ}$ C、5% CO₂）し、Tunicamycin処理を行った。その後、レサズリン還元法により細胞の生死判定を行った。Tunicamycin処理を全く行なわなかったコントロールを細胞生存率（100 %）として、それぞれの生存率を算出した。

2.2.3 NMDA投与による網膜障害モデルマウスに対する作用

ddy系雄性マウス（体重；36～39g、日本S L C（株））に小動物用麻酔器（笑気ガス70 %、酸素ガス30 % 環境下）を使い、イソフルランにて麻酔（麻酔導入時；2 % イソフルラン、麻酔維持時；1 % イソフルラン）を行った。その後、10 mM N-メチル-D-アスパラギン酸（NMDA）を含有する生理食塩水（NMDA溶媒）を注射針にてマウス硝子体内に投与（NMDA投与量；2 nmol/eye）し、または、NMDA投与と同時にCM-LPD含有生理食塩液をマウス硝子体内に投与（NMDA投与量；2 nmol/eye、CM-LPD投与量；0.01 nmol/eyeまたは0.1 nmol/eye）し、網膜障害モデルマウスを調製した。なお、網膜障害モデルマウスには抗炎症の目的でNMDA投与直後にレボフロキサシン点眼液（参天製薬株式会社）を点眼した。NMDA投与7日後に組織学的解析のために、マウスの眼を頸椎脱臼後に摘出した。摘出後、それぞれの眼に固定液である4 % パラホルムアルデヒド溶液を硝子体内投与し、その溶液に4 下で少なくとも24時間以上浸した。パラフィン包埋、薄切し、ヘマトキシリン-エオジンで染色した病理組織切片6枚（4 μ m厚）を作製した。網膜神経障害を評価するサンプルは、片眼につき視神経乳頭部が入るように採取した6枚の切片のうち無作為に3枚の切片を選択し、組織学的解析に用いた。選択した切片について、視神経乳頭から375 μ m～625 μ m間の網膜の写真撮影を行い、網膜における網膜神経節細胞（RGC）の数および内網状層（IPL）の厚さを計測し、組織学的解析を行った。

3. 結果と考察

3.1 リグノフェノールおよびCMリグノフェノールの特性

タケ由来PLD-CreおよびPLD-Vanの重量平均分子量はそれぞれ7200、5050であり、それぞれにおけるクレゾールおよびバニリン導入量は28wt%、29wt%であった。PLD-Cre、PLD-Vanから誘導されたCM化水溶性誘導体の重量平均分子量およびカルボキシメチル基量は、CM-PLD-Creが5330、11.6wt%、CM-PLD-Vanが4500、20wt%であった。

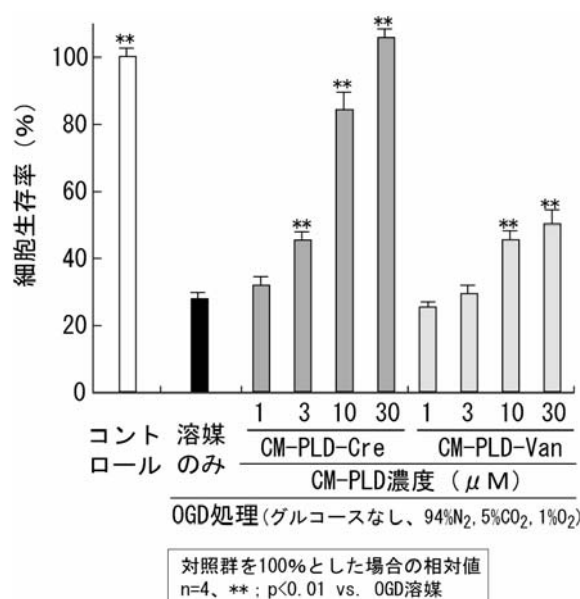


図1 水溶性CM化リグノフェノールの虚血様アポトーシスに対する抑制作用

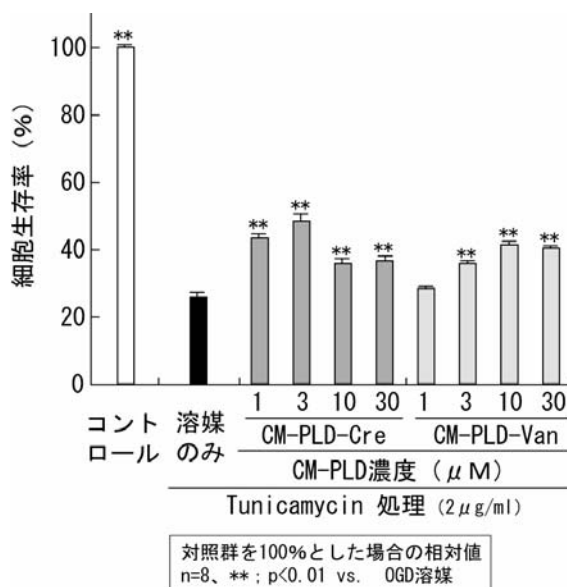


図2 水溶性CM化リグノフェノールのTunicamycin誘導アポトーシスに対する抑制作用

3.2 健康系リグニン素材の機能

3.2.1 低酸素・低グルコース誘導性虚血様細胞死に対する作用

細胞に酸素や栄養の供給が不足すると、細胞内の小器官である小胞体が異常を起こし、細胞死(アポトーシス)に至る。網膜神経細胞がアポトーシスに至ると視神経障害が引き起こされる。そこで低酸素・低グルコース(OGD)誘導から起こる小胞体ストレスによる(虚血様)アポトーシスに対するCM-PLDの作用を検討した結果(図1)、CM-PLDは虚血様アポトーシスに対して濃度依存的に顕著に抑制した。特に、クレゾールを導入したリグノフェノールから誘導した水溶性CM-PLD-Creは10 μ Mの添加濃度でアポトーシスを90%以上抑制し、30 μ Mではほぼ完全にアポトーシスを抑制した。

3.2.2 Tunicamycin誘導細胞死に対する作用

Tunicamycinは、ヌクレオシド系抗生物質でN-アセチルグルコサミンと類似した構造を有するため、糖供与体ウリジン2リン酸-N-アセチルグルコサミン(UDP-GlcNAc)からN-アセチルグルコサミンの転移酵素(ポリペプチド転移酵素あるいはO-GlcNAc転移酵素(OGT))やUDP-GlcNAcと結合し、酵素活性を阻害する。これにより、細胞の小胞体に異常タンパク質が過剰に蓄積され小胞体ストレスが惹起され、アポトーシスが誘発される。網膜障害は、このような小胞体ストレス誘導によっても引き起こされることが知られていることから、Tunicamycinによって誘発されるアポトーシスに対するCM-PLDの作用を検討した。その結果、図2に示すように、CM-PLDが存在することにより細胞死を約50%抑制した。CM-PLDは、OGD誘導性の虚血様アポトーシスの場合のような極めて高い抑制作用は示さなかったが、Tunicamycin誘導アポトーシスに対して有意な抑制効果を示した。

3.2.3 NMDA投与による網膜障害モデルマウスに対する作用

N-メチル-D-アスパラギン酸(NMDA)は、神経伝達物質であるグルタミン酸の受容体のひとつであるNMDA受容体に結合することにより細胞内 Ca^{2+} 濃度を上昇させアポトーシスを引き起こさせる。正常眼圧緑内障発症メカニズムでは、その下流においてNMDA受容体が関与していることから、アメリカではNMDAの拮抗剤(メマンチン)が正常眼圧緑内障の臨床試験段階にある。そこで、マウスの硝子体にNMDAを直接投与してin vivo網膜障害モデルマウスを調製し、また、CM-PLDを硝子体内に直接投与することによる網膜細胞に対する作用を検討した。

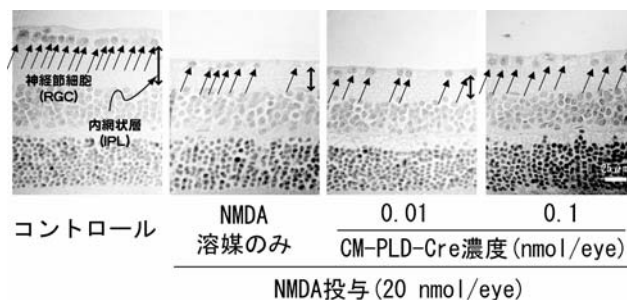


図3 NMDA投与による網膜障害モデルマウス網膜断片の神経組織像

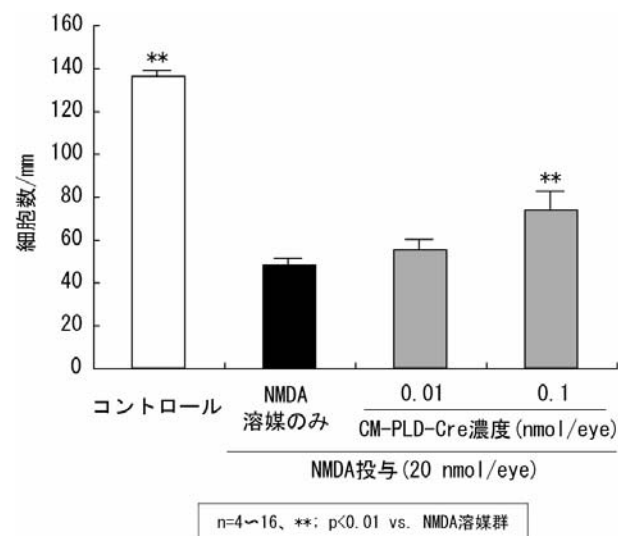


図4 水溶性CM化リグノフェノールの網膜神経節細胞の数に及ぼす影響

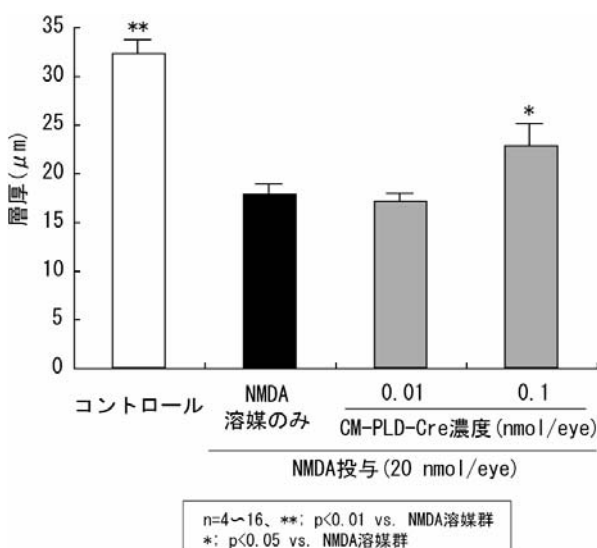


図5 水溶性CM化リグノフェノールの網膜内網状層の厚さに及ぼす影響

典型的な網膜断片の神経組織像をそれぞれ図3に示すように、CM-PLDの硝子体内投与によって網膜神経細胞は顕著に保護されたことが確認できる。また、コントロールと比較して、NMDAを硝子体内に投与したマウスの網膜神経節細胞層中の神経節細胞(RGC)の数(図4)は、 $130.4 \pm 0.9(\text{mm}^{-1})$ から $46.0 \pm 1.6(\text{mm}^{-1})$ に約65%減少し、内網状層(IPL)の厚さ(図5)は、 $32.8 \pm 2.0(\mu\text{m})$ から $18.0 \pm 1.0(\mu\text{m})$ に約45%菲薄化した。一方、NMDAの硝子体内への投与に加え、CM-PLD(0.1 nmol/eye)を投与した場合、RGCの数は $70.2 \pm 8.1(\text{mm}^{-1})$ になり、IPLの厚さは $22.9 \pm 2.3(\mu\text{m})$ になり、それぞれ約46%減少し、約30%菲薄した。以上のことから、CM-PLDの投与によって有意な網膜神経細胞保護作用が認められた。

4. まとめ

タケリグニンから誘導した水溶性のCM-LPDは、OGD誘導による虚血様状態での小胞体ストレスやTunicamycin誘導による小胞体ストレスから引き起こされる細胞のアポトーシスを、細胞レベルで、顕著に抑制した。CM-LPD-Creは、OGD誘導アポトーシスを $30 \mu\text{M}$ の投与でほぼ完全にアポトーシスを抑制した。

アポトーシスを引き起こす因子には、小胞体ストレスの他に、活性酸素などによる酸化ストレスなどがある。しかし、酸化ストレスによるアポトーシスを抑制するTololoxやEdaravoneなどの抗酸化剤は、Tunicamycin誘発細胞死に対してカルシウム拮抗剤などは効果を示さないこと¹²⁾からも、アポトーシスを誘発する因子によってアポトーシス抑制メカニズムは異なる。CM-LPDについては、活性酸素などによる酸化ストレスによるアポトーシスの抑制効果も確認されており、各種のアポトーシスに有効なユニークな抑制機能であった。

さらに、CM-LPDは*in vivo*網膜障害モデルマウスに対して、そのマウス網膜の組織学的解析から網

膜神経節細胞や内網状層を有意に保護することが認められ、緑内障や網膜疾患などの眼疾患に対する予防剤や治療剤として有効である可能性が期待される。

文献

- 1) Seki, N., Ito, K., Hara, T. and Funaoka, M. : *Trans. Material Res. Soc. J.*, 29, 5, 2471-2474 (2004) .
- 2) 特願2003-030053
- 3) Lam, T. T., Fu, J., Hrynewycz. M., Tso, M. O., : *J. Ocul. Pharmacol. Ther.*, 11, 253-259 (1995) .
- 4) Chang, C. J., Lai, W. W., Edward, D. P., Tso M. O. : *Arc. Ophthalmol.*, 113, 880-886 (1995) .
- 5) Portera, C. C., Sung C. H., Nathans J., Adler R. : *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 91, 974-978 (1994) .
- 6) Tso, M. O., Zhang, C., Abler. A. S., Chang, C. J., Wong, F., Chang, G. Q., Lam. T. T. : *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, 35, 2693-2699 (1994) .
- 7) Naash, M. L., Peachey, N. S., Li, Z. Y., Gryczan, C. C., Goto, Y., Blanks, J., Milam, A. H., Ripps, H. : *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, 37, 775-782 (1996) .
- 8) Quigley, H. A., Nickells, R. W., Kerrigan, L. A., Pease, M. E., Thibault, D. J., Zack, D. J. : *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, 36, 774-786, (1995) .
- 9) Garcia, V. E., Shareef, S., Walsh, J., Sharma, S. C. : *Exp. Eye Res.*, 61, 33-44 (1995) .
- 10) Funaoka, M. , Matsubara, M. , Seki, N., Fukatsu, S. : *Biotechnol. Bioeng.* 46 , 545-552 (1995) .
- 11) 関範雄、伊藤国億、原敏夫、船岡正光：岐阜県生活技術研究所研究報告，No.5，pp.26-33，2003 .
- 12) 嶋澤雅光：第2回岐阜脳科学研究会講演要旨集，pp.12-25，2005 .

木材の光漂白に関する研究 (第2報) 光変色材は光漂白可能か

三井 勝也*

Photobleaching of Wood (II)

Is it possible to photobleach the light-irradiated wood ?

Katsuya MITSUI *

透過限界波長(λ_{limit})を有するシャープカットフィルターおよび中心波長(λ_0)のバンドパスフィルターを用い、光変色材の光漂白を試みた。ヒノキの光変色材、ナラの光変色材ともに、シャープカットフィルターを用いた光照射によって、 ΔL^* の上昇、 Δa^* の低下が見られた。すなわち、赤みが減少し、明るさが増加したことから、光劣化材も光漂白できる可能性がある。一方、 Δb^* については λ_{limit} が長波長のときに上昇した。また、バンドパスフィルターを用いた場合も λ_0 が 300nm および 600nm のときに Δb^* は上昇した。これらのことから、光変色材は長波長の光照射によっても黄変が進み、これまでの黄変とは異なる機構により Δb^* が上昇したと考えられる。

1. 緒言

表面化粧材として使用される木材には、木理と材色の優良性が要求される。表面に汚染・変色、色のバラツキがある材は化粧用として利用できない。木材の漂白は、変色防止、染色、着色などとともに、材色を調整して改良する調色技術の一つである。

これまで木材の漂白は薬剤に依存しており、それらは主に酸化漂白剤と還元漂白剤に大別できる。酸化漂白剤は、無機塩素系、有機塩素系、無機過酸化物系、有機過酸化物系などが、還元漂白剤は水素化合物、含窒素化合物、無機硫黄化合物、酸系などが挙げられる¹⁾。

木材の漂白の新たな試みとして、「光漂白」がある。通常、木材に光照射を行うと黄変が進む。しかし、特殊な条件下で光照射を行うと、木材の材色が明色化することが報告されている。サンシャインウェザーメータあるいはキセノンウェザーメータで光照射を行う際に、試験片をフィルターで覆い、波長を制限すると、明度指数(L^*)が上昇し、クロマティックネス指数(a^* および b^*)が低下すると

いう現象が、いくつかの樹種で確認された^{2,3)}。さらに、Kataokaらは多波長照射分光器を用い、スギ材に光照射を行ったところ、400nm付近ですべての材色パラメータの正負が反転することを報告した⁴⁾。これらのことから、木材においても、波長をコントロールすれば光照射によって漂白できる可能性がある。

そこで、本研究では材色の欠点の一つである、光照射によって黄変した木材を、光照射によって漂白することを試みた。

2. 実験方法

2.1 供試材

本研究では、ヒノキ(*Chamaecyparis obtusa*)、ナラ(*Quercus serrata*)を用いた。

2.2 光劣化材の作成

擬似的に光劣化材を作成するため、木材をスーパーキセノンウェザーメータ(SX-75:スガ試験機株式会社)を用い、50時間光照射した。なお、ブラックパネル温度63℃、放射照度180W/m²(300-400nmにおいて)とした。

2.3 光漂白

前項で作成した光劣化材をフィルターで覆うこ

* 試験研究部 (住環境研究室)

とによって波長を制限し、光照射を行った。図1および図2にシャープカットフィルターおよびバンドパスフィルターの透過特性を示す。図1に示すフィルターはシャープカットフィルター(UZF-50S-34U、SCF-50S-39L、SCF-50S-44Y、SCF-50S-50Y、SCF-50S-56O、SCF-50S-60R、SCF-50S-70R：シグマ光機株式会社)であり、フィルターの分光透過率において、透過率が72%以上となる波長値と5%以下になる波長値の間隔を波長傾斜幅といい、波長傾斜幅の中点に該当する波長を透過限界波長(λ_{limit})とした。図2に示すフィルターはバンドパスフィルター(MZ300、MZ400、MZ500、MZ600：朝日分光株式会社)であり、中心波長を λ_0 とした。

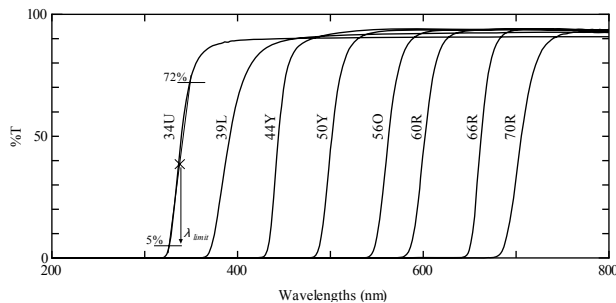


図1 シャープカットフィルターの透過特性

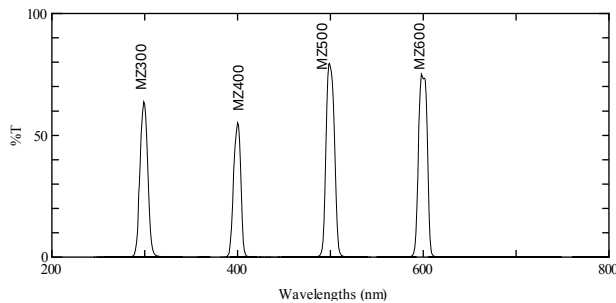


図2 バンドパスフィルターの透過特性

2.4 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10mmとしD₆₅光源を適用した。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。

$$\begin{aligned}\Delta L^* &= L_t^* - L_s^* \\ \Delta a^* &= a_t^* - a_s^* \\ \Delta b^* &= b_t^* - b_s^* \\ \Delta E^* &= \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}\end{aligned}$$

ここで、 L_t^* 、 a_t^* および b_t^* は光漂白後の L^* 、 a^* および b^* であり、 L_s^* 、 a_s^* および b_s^* は光劣化材の L^* 、 a^* および b^* である。

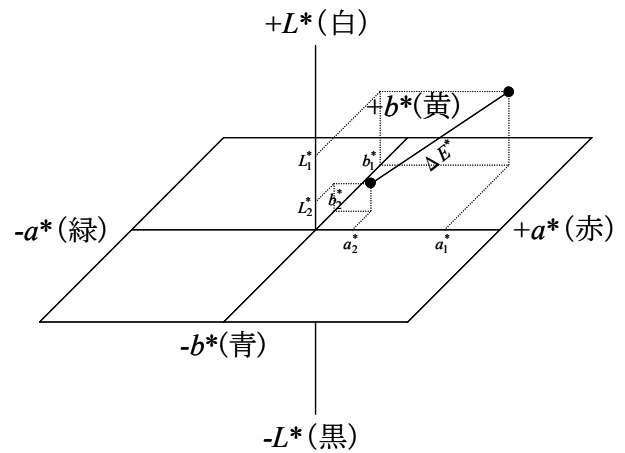


図3 CIELAB色空間

表1に光照射前後の材色を示す。

表1 光照射前後の材色

樹種		L^*	a^*	b^*
ヒノキ	前	79.70±1.10	6.03±0.72	22.89±0.63
	後	73.86±1.07	3.85±0.30	30.85±0.78
ナラ	前	66.14±0.99	7.06±0.30	23.10±0.33
	後	63.52±0.99	6.54±0.30	27.17±0.36

3. 結果と考察

3.1 シャープカットフィルターによる波長制御の影響

図4および5に、シャープカットフィルターでヒノキおよびナラの光劣化材を覆い、光照射したときの材色変化を示す。 ΔL^* について、ヒノキ材では λ_{limit} が390nm以上で、ナラ材については340nm以上で正に転じた。すなわち、この領域では明るさが増したと判断できる。 Δa^* については、ヒノキ材において λ_{limit} が440nmから500nmの間で、ナラ材については λ_{limit} が390nmから560nmの間で負に転じた。600nm以上ではいずれの樹種も Δa^* が上昇した。Changらは、スギ心材において、シャープカットフィルターを用い光照射を行ったとき、 λ_{limit} が概ね600nmのとき、 Δa^* が上昇することを報告した⁵⁾。このことから、光照射材においても同様の現象が起きたと考えられる。 Δb^* については、ヒノキ材では λ_{limit} が440nmのときに、ナラ材については λ_{limit} が390nmおよび440nmのときにほとんど変化がなく、ヒノキ材は390nm以下で、ナラ材は340nm以下で Δb^* の上昇が見られた。短波長側では、紫

外線を含む。本実験ではあらかじめ光照射を50時間行い、その後、シャープカットフィルターを用いた光照射を行っている。すなわち、 λ_{limit} が短波長側では、通常的光照射を長時間行っていることになるため、黄変が進んだと考えることができる。一方、ヒノキ材、ナラ材ともに λ_{limit} が500nm以上になった場合、 Δb^* は上昇した。一般に、黄変は紫外線を含む光によってキノン類が生成し引き起こ

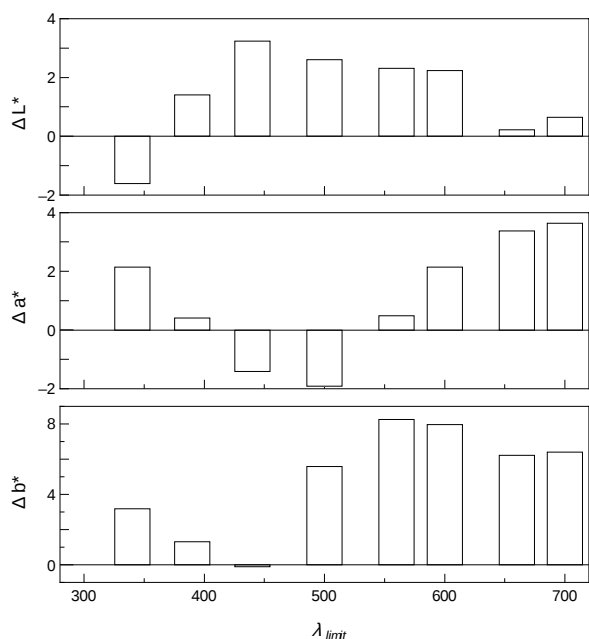


図4 光劣化したヒノキ材のシャープカットフィルターを用いた光照射による材色変化

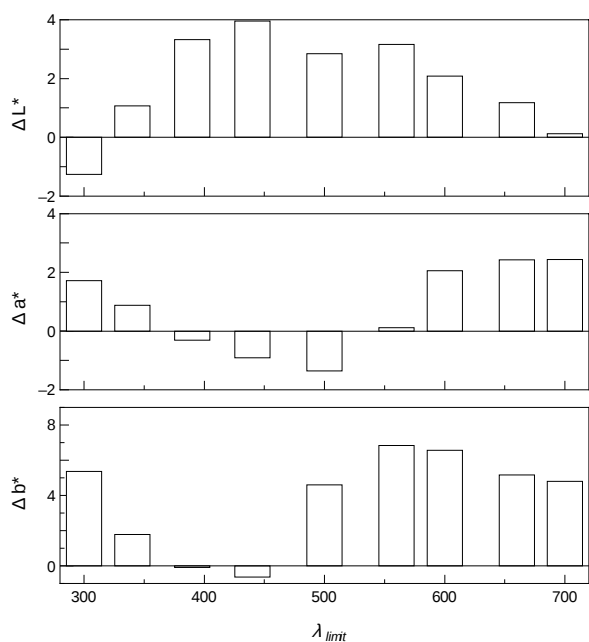


図5 光劣化したナラ材のシャープカットフィルターを用いた光照射による材色変化

されると考えられている⁶⁻⁹⁾。また、これまで行ったシャープカットフィルターを用いた光照射では、 λ_{limit} が長波長領域の場合の Δb^* はほとんど変化が見られなかった^{2,3)}。すなわち、光変色が一度引き起こされた材は、長波長の光(すなわち、エネルギーが小さい光)によっても、黄変を引き起こすと考えられる。これらのことから、光照射材は λ_{limit} が400nmから500nm程度を用いることにより、光漂白が可能であると考えられる。また、 λ_{limit} が長波長の場合の光照射材のさらなる黄変は、これまでの光劣化による黄変と異なる機構により引き起こされるものと考えられる。

3.2 バンドパスフィルターによる波長制御の影響

図6に光劣化したヒノキ材に対し、バンドパスフィルターを用い、光照射したときの材色変化を示す。 ΔL^* については、すべての波長において負の値を示した。 Δa^* については λ_0 が500nm以上で負に転じた。 Δb^* については λ_0 が300nmおよび600nmのときに正であり、400nmおよび500nmのときは負の値を示した。本実験では、キセノンランプを使用し、バンドパスフィルターを用いているため、一概にこの結果の大小を比較することはできない。なぜなら、キセノンランプは特有の分光分布を持っているため¹⁰⁾、それぞれの波長における積算照度が異なる。しかし、シャープカットフィルター使用時と同様に、400nmから500nm付近で、漂白の可能性があると考えられる。また、 Δb^* の挙動についても、 λ_0 が300nmと600nmのときに上昇するが、その黄変の機構は異なると考えられる。

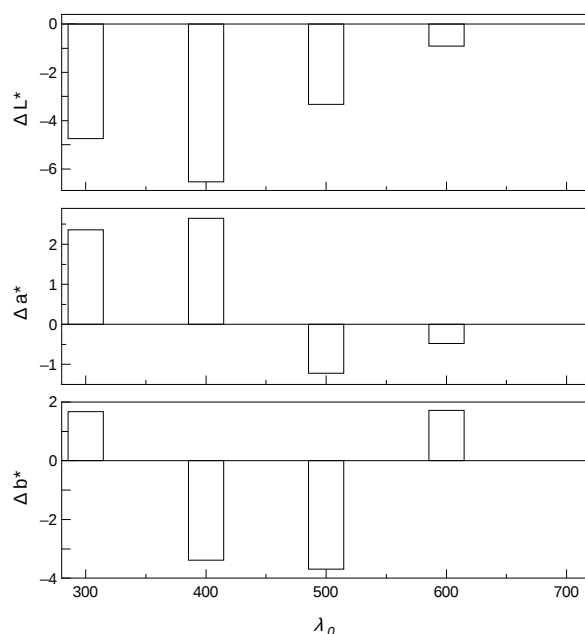


図6 光劣化したヒノキ材のバンドパスフィルターを用いた光照射による材色変化

4. まとめ

本研究では、透過限界波長(λ_{limit})を有するシャープカットフィルター8種および中心波長(λ_0)のバンドパスフィルター4種を用い、光変色材の光漂白を試みた。ヒノキの光変色材、ナラの光変色材ともに、シャープカットフィルターを用いた光照射によって、 ΔL^* の上昇、 Δa^* の低下が見られた。すなわち、赤みが減少し、明るさが増加したことから、光劣化材も光漂白できる可能性がある。一方、 Δb^* については λ_{limit} が長波長のときに上昇した。また、バンドパスフィルターを用いた場合も λ_0 が300nmおよび600nmのときに Δb^* は上昇した。これらのことから、光変色材は長波長の光照射によっても黄変が進み、これまでの黄変とは異なる機構により Δb^* が上昇したと考えられる。

文献

- 1) 高橋正男:“木材利用の化学” ,今村博之ら編 , 共立出版 , 東京 , 1983 , pp.228-239 .
- 2) Mitsui, K. : Holz Roh Werkst 62, 23-30 (2004).
- 3) 三井勝也 : 岐阜県生活技術研究所研究報告 , No.8 , pp.55-58 , 2006 .
- 4) Kataoka, Y., Kiguchi, M., Williams, R.S., Evans P.D. : Holzforschung 61, 23-27 (2007) .
- 5) Chang , S.T., Wang, S.Y., Cheng, S.S.; J Wood Sci 46, 390-394 (2000) .
- 6) Hon, D.N.S., Glasser, W. : Polym Plast Technol Eng 12, 159-179 (1979) .
- 7) Leary, G. J. : Nature 217, 672-673 (1968) .
- 8) Gierer, J., Lin, S.Y. : Svensk Papperstidn 75, 233-239 (1972) .
- 9) Shkrob, I.A., Depew, M.C., Wan, J.K.S. : Res Chem Intermediat 17, 271-285 (1992) .
- 10) Mitsui, K. Tsuchikawa, S. : J Photochem Photobiol B:Biol 81, 84-88 (2005) .

軟質木材の高度利用研究（第2報） ロール圧密による表層圧密木材の製造

長谷川 良一^{*1}、児玉 順一^{*2}

The Study of High Utilization for Soft Wood (II)
Product of Surface Compressed Wood on Roll Press System

Ryoichi HASEGAWA^{*1}, Junichi KODAMA^{*2}

スギ材を代表とする軟質木材の諸物性を改善する方法の一つに圧縮加工がある。特に床材への利用を図るには表面性能の改善が要求される。そこで、ロール圧密による表層細胞を圧縮し、その後熱処理もしくは樹脂により圧縮層を固定化する表層圧密木材の製造方法と性能について検討した。その結果

- 1) 熱処理による圧縮層の固定は、圧縮量の増加に伴い衝撃によるへこみ量が減少し、かつバラツキが小さくなる傾向が確認された。圧縮量を 3mm に設定することにより、オーク材とほぼ同等の耐衝撃性能が得られた。また摩耗性能の改善効果も著しかった。
- 2) 熱処理は、開放状態の簡易熱処理より密閉状態の熱処理の方が収縮膨潤の差が小さく、寸法安定性の高い固定方法であった。
- 3) 簡易もしくは密閉熱処理による固定化方法は、0.3mg/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。
- 4) 圧縮層を固定する樹脂として、フェノール樹脂、グリオキザール樹脂を用いることにより、目標としたホルムアルデヒド放散量が 0.4mg/L 以下、デュボン衝撃は落下高さ 300mm でへこみ量 0.6mm 以下、ブリネル硬さが 1.0kgf/mm² 以上、テーバー摩耗の厚さ減少量が 0.1mm 以下の表層圧密木材を製造する条件が明確になった。

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、接合部の強度増加 表面の硬さ向上 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た。現在、

軟質木材の諸物性を改善する方法の一つに圧縮加工がよく知られている。特に床材への利用を図るには表面性能の改善が要求される。そこで今回は表面の硬さを向上するために、必要最低限の表層部分のみの圧縮すること、また長尺材を連続的に処理することから、ロール圧密による表層細胞を選択的に圧縮し、その後熱または樹脂により圧縮層を固定化する手法を提案し、その製造方法および性能との関係について検討したので報告する。また、この処理により製造された表層圧密木材は、安全面においてはホルムアルデヒド放散量 F であること。性能は、既存単層フローリングの物性及び快適性に匹敵することを目指している。

^{*1} 試験研究部（木質材料研究室）

^{*2} 山本ビニター株式会社

2. 実験

2.1 供試木材

供試木材の軟質木材は、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。

試験片寸法は、120mm（接線方向:W）20mm（半径方向:T）150mm（繊維方向:L）とした。辺心材の割合は選別しなかった。

2.2 表層圧密木材の製造

ロールプレスにより木材表層部分を選択的に圧縮することで変形履歴を与え、その後圧縮層を固定する方法は、熱プレスを使用する場合、樹脂により固定する場合について行った。ロールプレスのロール径200mm、ロール速度5m/minに設定し、1回の圧縮量を1mmとして1～5mmの圧縮をした。熱プレスを使用する場合、開放系の熱処理は、熱盤温度180～200℃で10分間加熱した。また密閉系の熱処理は、熱盤周囲に密閉治具を備えた熱プレスにより内部圧力15MPa、熱盤温度180～200℃で5分間加熱した。樹脂による固定処理はロールプレス後、各樹脂水溶液水槽中に浸漬（30秒間）し、その後樹脂の硬化を熱プレスもしくは高周波加熱を行った。表層の圧縮部分を固定化する樹脂は、汎用樹脂の中から表1に示すフェノール樹脂、メラミン樹脂、グリオキザール樹脂の使用を試みた。また、硬化方法は、熱盤プレス、高周波加熱条件について検討した。なお、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

表層圧密木材は、床材への利用を主に考えている、このため性能評価としては、表面の耐衝撃性、硬さ、耐摩耗性、鉛筆硬度、塗膜密着性、安全面

のホルムアルデヒド放散量について測定した。以下に詳細な測定方法を示す。

2.3.1 デュボン衝撃試験

デュボン試験機（東洋精機製）のステージ上に処理された試験体をセットし、300mm、500mmの2通りの高さから、500gのおもりを自由落下させた。なお、撃ち型半径は、12.7mm、受け台は平面を使用した。へこみ量の測定は、φ7.89mmの鋼球を介してマイクロメータで最深のへこみ量を測定した。落下は、早材部に対して3カ所行い、耐衝撃性の評価とした。

2.3.2 寸法安定性試験

試験体を恒温恒湿内に栈積みし、40℃・90%RH・24時間→40℃・30%RH・24時間を2サイクル実施した。24時間毎に、各試験体の繊維方向、接線方向、半径方向について1/100mmデジタルノギスを用い測定した。

2.3.3 ホルムアルデヒド放散量測定

JAS 集成材に準拠しホルムアルデヒド放散量を測定した。

2.3.4 プリネル硬さ試験

試験は、木表側の早材部において直径10mmの鋼球を、深さ約0.32mmまで圧入した時の荷重を測定した。試験機は、島津オートグラフAG-50KNIS（MO型）専用のプリネル硬度計を用いた。

2.3.5 テーパー摩耗試験

各処理材から直径120mmの円盤を切り出し試験体とした。摩耗試験機（東洋精機製）に硬質摩耗輪（CS-17：テーパー社製）を取り付け、試験体への荷重を1000gとし500回転後の試験体の重量変化及び摩耗輪軌跡の厚さ変化（4カ所）を測定した。

表1 圧縮層の固定に使用した樹脂

樹脂種類	樹脂記号	内容・メーカー・ねらい
フェノール樹脂 (Jケミカル製)	PWS-2	標準タイプ。比較的色彩が薄い
	PWP-2	架橋可塑性タイプ、PWSの弾性を向上させたもの
	PWB-2a	架橋剛性タイプ、PWSの剛性を向上させたもの
	PWB-2b	架橋剛性タイプ、通常処理以外に熱処理したもの
	PWB-3	架橋剛性タイプ、通常処理以外に熱処理したもの、圧縮量を3mmとする。
	PF10-2	架橋剛性タイプを濃度10%に精製水で希釈、通常処理以外に熱処理したもの
	P05-3	低ホルタイプ、濃度5%
メラミン樹脂 (Jケミカル製)	P10-3	低ホルタイプ、濃度10%
	MLS-2	標準タイプ、透明で樹脂硬度がある
グリオキザール樹脂 (大日本インキ製)	MLB-2	架橋剛性タイプ、MLSの剛性を向上させたもの
	G10-2	濃度10%で透明、臭気が少ないもの
	G20-2	濃度20%
	G10A-2	スパーク防止として触媒を変更
	L10-3	低ホルタイプ、ホルムアルデヒドを低減させる

2.3.6 鉛筆硬度試験

JIS K5600-5-4に準じ、鉛筆6B,5B,4B,3B,2B,B,HB に対しての、表面の引っかき傷の有無の目視判定を行った。

2.3.7 塗膜試験

家具製造現場の塗装技術者に依頼し、床材用塗料を塗布した。その後、JIS K5600-5-6に準拠し、クロスカット法により塗膜の付着性を評価した。切り傷のすきま間隔は、1mm、切り傷のます目の数は100個である。評価は、JISに準じ6段階評価を行った。

2.4 材内部の密度分布の測定

試験材は圧縮量を1～10mmまで変化させグリオキザール樹脂で固定した表層圧密木材を使用した。Grecon製X線発生装置を用い、0.02mm間隔で材内密度を測定した。試験体寸法は、幅50×長さ50mm、厚さは20～10mmであった。なお、測定は(独)森林総合研究所の複合化研究室所有の装置を借用した。

3. 結果と考察

無垢材の広葉樹フローリングや市販フローリング製品の現状から考慮して、今回の目標とする性能は、ホルムアルデヒド放散量はFの0.4mg/L以下、デュポン衝撃が落下高さ300mmでへこみ量0.6mm以下、ブリネル硬さが1.0kgf/mm²以上、テーパー摩耗は厚さ減少量が0.1mm以下とした。以下に表層圧密木材の圧縮層の固定方法の違いによる性能を記す。

3.1 熱処理による圧縮層の固定

熱盤周囲が開放状態での簡易熱処理と密閉状態での熱処理の2通りについて実施した。

図1～3にデュポン衝撃試験による耐衝撃性結果を示す。両方法とも圧縮量の増加に伴い、落下痕のへこみ量が減少し、かつバラツキが小さい傾向が確認された。圧縮量を3mmに設定することにより、オーク材とほぼ同等の耐衝撃性能が得られた。開放状態での簡易熱処理方法の方が、密閉状態より同一圧縮量でのへこみ量が小さく、高い耐衝撃性が得られた。これは、密閉状態での熱処理表面の方が、より木材表面が分解、劣化が起きているものと思われる。無処理のスギのへこみ量は、平均1.16mmでバラツキが大きいのにに対して、オーク材は、平均0.50mmと小さくかつバラツキが小さい。このように元来、オーク材の1/2以下の耐衝撃性表面が表層圧密処理により耐衝撃性は改善された。

図4、5に吸放湿に伴う寸法変化を示す。密閉熱処理は、簡易熱処理より収縮膨潤の差が少ない、いわゆる寸法安定性が高い処理手法といえる。ま

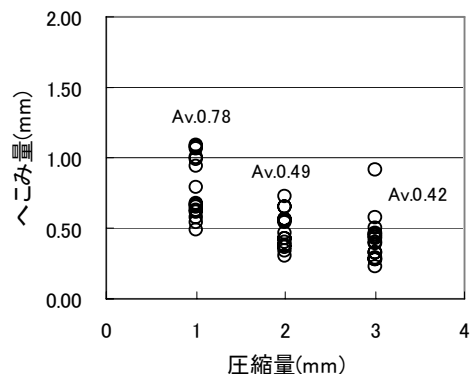


図1 簡易熱処理
(落下高300mm)

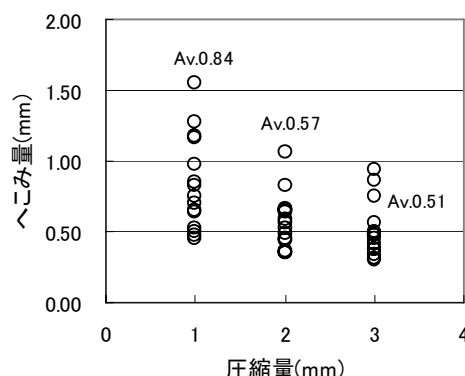


図2 密閉熱処理
(落下高300mm)

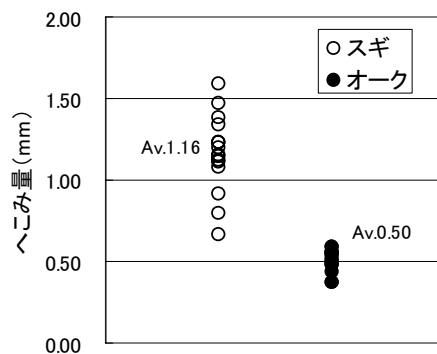


図3 未処理木材表面
(落下高さ300mm)

た、吸放湿前後の寸法が元に戻っており圧縮固定されたと判断できる。一方簡易熱処理は、無垢材と比べ、2倍以上の収縮膨張が発生し、圧縮量が大いほどその収縮膨張幅も大きくなっていった。簡易熱処理は圧縮の固定が完全にされていないため、徐々に圧縮前の厚さに回復する傾向があった。

表2にホルムアルデヒド放散量を示す。簡易もしくは密閉熱処理による固定化方法では、0.3mg/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。

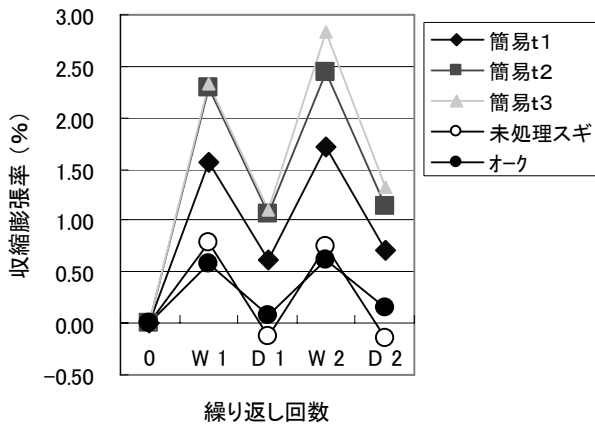


図4 半径方向・寸法変化
簡易熱処理

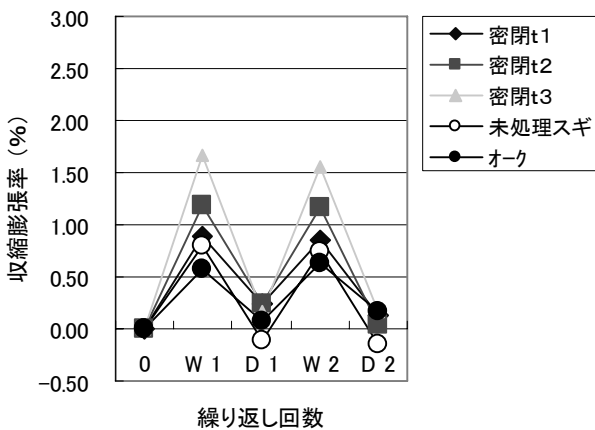


図5 半径方向・寸法変化
密閉熱処理

表2 処理材のホルムアルデヒド放散量

	放散量(mg/L)	
	平均	最大値
簡易熱処理	0.3	0.3
密閉熱処理	0.2	0.3
スギ未処理材	0.0	0.0
オーク材	0.0	0.0

図6に処理別のブリネル硬さを示す。未処理スギ材表面に比べ両処理とも、平均値で2倍以上増加しているものの、値のバラツキが発生していた。これは、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、板目面においては、表面上は早材部分であっても、半径方向の早材部割合がそれぞれ異なるため、値のバラツキが発生すると思われる。2mmの圧縮量では、目標とするブリネル硬さは得られなかった。

図7にテーバー試験による耐摩耗結果を示す。両熱処理とも未処理スギ材に比較して、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。表層圧密木材は摩耗性に対する効果は高いと思われる。

鉛筆硬度に関しては、両熱処理とも未処理材と同等の6Bにおいて傷が確認された。塗膜がない表面では目視による傷の判断が非常に困難なこともあり、鉛筆硬度の増加効果が明確でなかった。

塗膜試験に関しては、簡易熱処理は、未処理と同じ1判定となったが、塗料の密着性には何ら問題ないと思う。また、現場の塗装技術者からも、現在現場で使用している木材と同様な塗布感であったとの意見を得た。

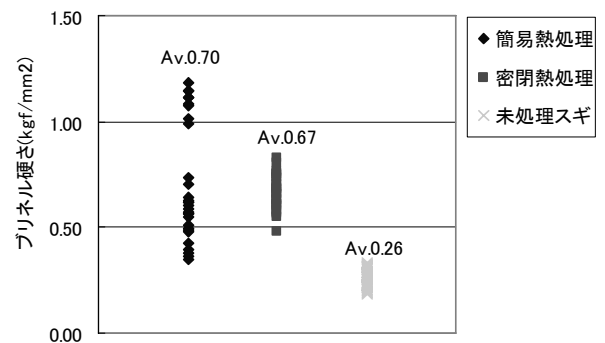


図6 処理材の表面硬さ

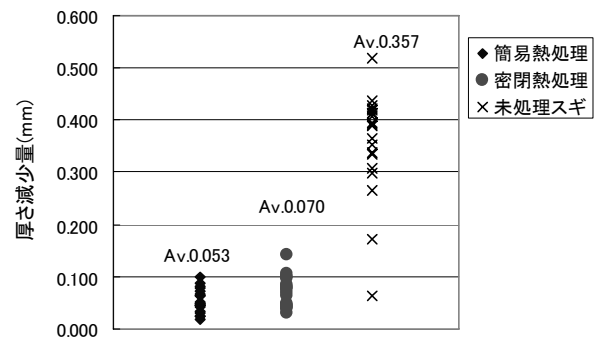


図7 テーバー摩耗試験

3.2 樹脂による圧縮層の固定

3.2.1 メラミン樹脂

メラミン樹脂は、Jケミカル製の標準タイプMLSと架橋剛性タイプMLBを用いた。一般的にメラミン樹脂は、表面硬さは向上するものの、ホルムアルデヒド放散や処理表面色が白色化することが課題と言われている。このため、今回は、透明タイプ選定し、またホルムアルデヒド放散を抑制するために加熱温度を150～180℃、プレス時間を1～10分間とした。作成条件を表3に示す。

圧縮量を2mmとしメラミン樹脂で固定することにより、材全体の密度は1割増加していた。耐衝撃性やブリネル硬さは、樹脂のタイプや硬化条件の違いによる差は見られなかった。摩耗性については、図8、9に示すとおりMLBの方が全体的に優れていた。MLSを使用する場合は、加熱温度180℃にすることにより摩耗性の向上が発現された。今回使用したメラミン樹脂は、ブリネル硬さ、耐摩耗性に関する性能向上が顕著であったが、ホルムアルデヒドに関しては、加熱温度を上げることにより若干放散量は減少するが、F値をクリアする0.4mg/L以下にはならなかった。このためメラミ

ン樹脂を使用する場合は、室内製品以外の利用展開を考える必要がある。

表3 メラミン樹脂（MLS、MLB）作成条件

圧縮量 (mm)	熱盤温度 (℃)	プレス時間 (min)
2	150	1
		5
		10
	165	1
		5
		10
	180	1
		5
		10

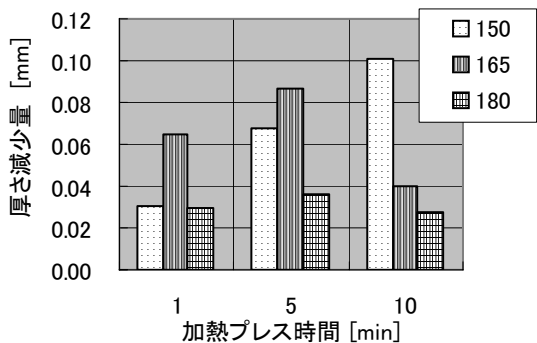


図8 MLSにおける耐摩耗性

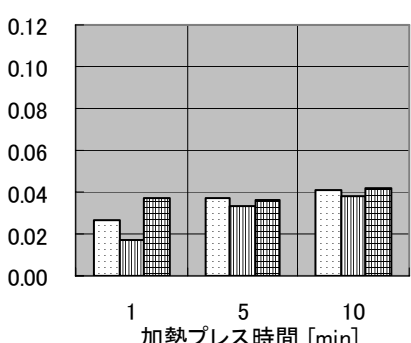


図9 MLBにおける耐摩耗性

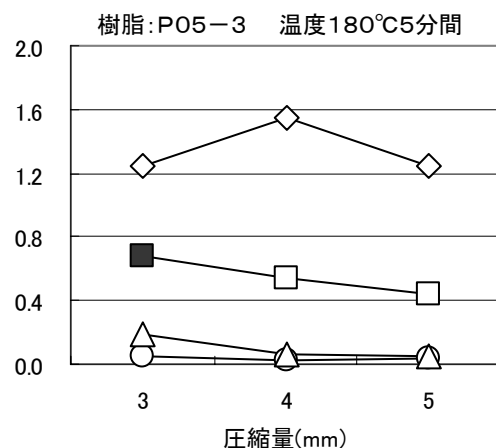
3.2.2 フェノール樹脂

一般的にフェノール樹脂は、処理表面が赤色化することが知られている。そこで今回は着色が比較的少ないタイプを選定した。表4に作成条件とその性能結果を示す。PWシリーズにおいては目標とする性能をすべてクリアする樹脂の検索は出来なかった。とくにホルムアルデヒドの放散量を抑制する可能性が小さいと判断し使用を断念した。そこで硬化温度が高いタイプのフェノール樹脂を選定した結果、ホルムアルデヒド放散が少ない傾向

が伺えた。そこでこのタイプの樹脂を用いた場合の適正な圧縮量や硬化条件を探索した。その結果を図10、11に示す。硬化温度が高く、内部からの加熱を促進するために高周波加熱方式の併用を試みた。その結果、圧縮量を4mm以上とすること、もしくは樹脂濃度を10%にすることにより、目標とする性能はすべてクリアすることが明らかになった。ただし、高温による材劣化の傾向が若干見られたことや、樹脂による若干の着色は今後の課題となった。

表4 フェノール樹脂を用いた表層圧密木材の性能

樹脂記号	圧縮量 mm	熱プレス		デュボン衝撃性	耐摩耗性	ブリネル硬さ	HCHO
		温度 ℃	時間 min	落下高300 mm	厚さ変化 mm	kgf/mm ²	mg/L
PWS-2	2	150	1	0.67	0.40	0.52	6.34
			5	0.66	0.31	0.46	
			10	0.82	0.22	0.35	
	2	165	1	0.80	0.29	0.35	4.22
			5	0.75	0.19	0.39	
			10	0.61	0.18	0.37	
2	180	1	0.78	0.26	0.35	3.41	
		5	0.54	0.21	0.51		
		10	0.63	0.11	0.47		
PWP-2	2	150	1	0.86	0.19	0.34	5.87
			5	0.69	0.10	0.51	
			10	0.77	0.16	0.37	
	2	165	1	0.70	0.11	0.33	3.31
			5	0.59	0.08	0.51	
			10	0.73	0.22	0.43	
2	180	1	0.68	0.11	0.39	3.22	
		5	0.61	0.10	0.54		
		10	0.69	0.08	0.45		
PWB-2a	2	150	1	0.63	0.11	0.27	3.59
			5	0.53	0.08	0.44	
			10	0.75	0.11	0.36	
	2	165	1	0.62	0.15	0.35	9.10
			5	0.68	0.20	0.38	
			10	0.53	0.15	0.52	
2	180	1	0.66	0.17	0.44	2.87	
		5	0.56	0.17	0.57		
		10	0.40	0.13	0.56		
PWB-2b	2	180	10	0.61 0.64	0.10 0.07	1.08 1.85	1.44 1.05
PWB-3	3	180	10	0.39 0.34	0.05 0.06	1.97 1.14 1.07 0.93	1.89 1.56
PF10-2	2	150 165 180	10 10 10	0.53 0.61 0.47	0.02 0.03 0.03		1.21
P05-3	3	180	5 5(1) 5(3)	0.51 0.42 0.48	0.04 0.05 0.03	1.05 1.17 1.24	0.36 0.29 0.32
P10-3	3	180	5 5(1) 5(3) 5(2h)	0.43 0.48 0.42 0.55	0.09 0.03 0.03 0.06	0.96 1.23 1.38 1.01	0.41 0.55 0.29 0.21
P05-3	3	180	5	0.62	0.04	1.61	0.15
			5(1)	0.63	0.04	1.38	0.20
			5(3)	0.68	0.05	1.25	0.18
			5	0.54	0.03	1.28	0.33
			5(3強)	0.63	0.05	1.41	0.19
			10	0.70	0.03	1.48	0.16
			10(6)	0.78	0.05	1.31	0.14
			20	0.62	0.04	1.24	0.12
P05-3	4 5	180	5(3)	0.55	0.03	1.55	0.07
			5(3)	0.44	0.03	1.24	0.06
目標基準値 スギ未処理材				0.6 ↓ 1.50	0.1 ↓ 0.13	1.0 ↑ 0.63	0.4 ↓ 0.07



□ : デュボン衝撃 ○ : 耐摩耗性 △ : ブリネル硬さ ◇ : HCHO
塗りつぶしは、目標値を満たさない。カッコは高周波印加熱時間(分)

図10 圧縮量とその性能

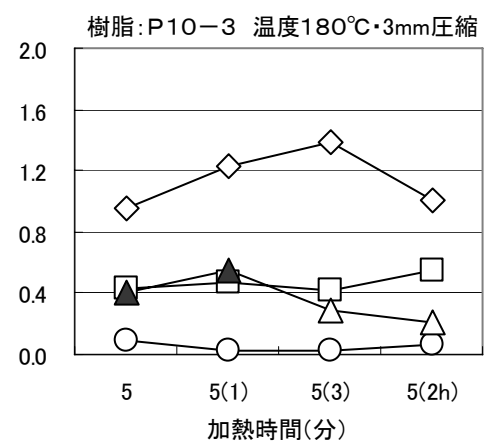


図11 樹脂硬化条件と性能

3.2.3 グリオキザール樹脂

一般的にグリオキザール樹脂は、硬化の際に時間を要することや高周波加熱には不向きであるなどの問題点はあるが、樹脂が無色透明で臭気がほとんど無いことなどから樹脂の使用を試みた。表5に作成条件とその性能結果を示す。Gシリーズにおいては、一部高周波加熱を併用することにより、目標性能をクリアする条件が見出された。Lシリーズは、ホルムアルデヒド放散以外は比較的安定した性能が得られた。圧縮量を4mm以上に設定し、プレス温度180℃、高周波加熱併用することにより確実に目標値をクリアする条件が明らかになった（図12、13）。

3.3 表層圧密木材の材内密度分布

図14にロールによる圧縮量を変化させグリオキザール樹脂により固定した表層圧密木材の材内密度分布を示す。密度データは、100個の移動平均値を計算しプロットした。早材、晩材の違いによる密度差は、圧縮量を大きくしても見られた。ロールによる圧縮方法は、圧縮される時間が短いため材中心部の密度増加は比較的少なく、表層部分が集中的に密度増加する傾向が確認された。今後、このような密度傾斜を有する表層圧密木材が、長期的使用の観点から寸法安定性に与える影響を検討する必要があると考える。

表5 グリオキザール樹脂を用いた表層圧密木材の性能

樹脂記号	圧縮量 mm	熱プレス		デュボン衝撃性	耐摩耗性	ブリネル硬さ	HCHO
		温度	時間 min	落下高300 mm	厚さ変化 mm	kgf/mm2	mg/L
G10-2	2	150	1	0.79	0.08	0.39	4.91
			5	0.56	0.04	0.52	
			10	0.47	0.07	0.56	
		165	1	0.62	0.07	0.39	4.61
			5	0.55	0.07	0.58	
			10	0.62	0.05	0.53	
180	1	1.22	0.06	0.12	3.61		
	5	0.58	0.07	0.45			
	10	0.86	0.10	0.27			
G20-2	2	150	1	0.82	0.11	0.17	5.68
			5	0.53	0.28	0.56	
			10	0.50	0.11	0.93	
	2	165	1	0.64	0.14	0.34	6.12
			5	0.89	0.11	0.48	
			10	0.88	0.09	0.39	
2	180	1	1.37	0.11	0.16	4.68	
		5	0.75	0.09	0.38		
		10	0.94	0.09	0.48		
G10A-2	3	150	2.5	0.66	0.09	0.72	2.61
						0.51	
			5	0.67	0.06	0.74	3.22
		10	0.54	0.04	0.69	3.24	
G10A-3	3	150	5(1)	0.53	0.11	1.24	1.42
			5(3)	0.43	0.07	1.29	2.58
			5(1+2h)	0.39	0.03	1.45	0.23
		150	5(3+2h)	0.58	0.09	0.90	0.27
			5	0.55	0.06	1.08	2.06
				0.38	0.03	1.35	1.55
L10-3	3	150	5	0.47	0.07	1.17	0.87
			5(1)	0.54	0.06	1.33	1.25
			5(3)	0.34	0.04	1.41	0.78
		180	5	0.54	0.07	1.16	0.68
			5(1)	0.72	0.04	1.15	0.95
			5(3)	0.42	0.03	1.05	0.50
L10-3	3	180	5	0.77	0.08	1.26	1.07
			5(3)	0.82	0.08	1.20	0.41
			5(3強)	0.66	0.05	1.86	0.29
			10	0.83	0.06	1.99	0.29
			10(3×2)	0.70	0.06	1.59	0.30
			20	0.78	0.06	1.83	0.19
L10-3	4	180	5(3)	0.45	0.06	2.10	0.12
			5(3)	0.46	0.05	1.66	0.10
			7(3)	0.52	0.05	1.54	0.10
			7(3)	0.49	0.03	1.46	0.12
目標基準値				0.6↓	0.1↓	1.0↑	0.4↓
スギ未処理材				1.50	0.13	0.63	0.07

4. まとめ

今回の研究では、ロール圧密による表層細胞を選択的に圧縮し、その後熱または樹脂により圧縮層を固定化した表層圧密木材の性能について検討した結果、次の知見を得た。

- 1) 熱処理による圧縮層の固定は、圧縮量の増加に伴い衝撃によるへこみ量が減少し、かつバラツキが小さくなる傾向が確認された。圧縮量を 3mm に設定することにより、オーク材とほぼ同等の耐衝撃性能が得られた。また摩耗性能の改善効果も著しかった。
- 2) 熱処理は、開放状態で行う簡易熱処理より熱盤周囲を密閉する密閉熱処理の方が収縮膨潤の差が一番小さく、寸法安定性の高い固定方法であった。
- 3) 簡易もしくは密閉熱処理による固定化方法は、0.3mg/L のホルムアルデヒドが検出されたが、F 値の範囲内であった。
- 4) 圧縮層を固定する樹脂として、フェノール樹脂、グリオキザール樹脂を用いることにより、目標としたホルムアルデヒド放散量が 0.4mg/L 以下の F 値であり、デュポン衝撃は落下高さ 300mm でへこみ量 0.6mm 以下、ブリネル硬さが 1.0kgf/mm² 以上、テーバー摩耗の厚さ減少量が 0.1mm 以下の表層圧密木材の製造条件が明確になった。

今回の報告では、長さ方向の短い小試験体における検討を行ったが、今後は実大材のスギを用いた試験を重ねていく必要がある。圧縮層を樹脂により固定する方法は、同時に塗装することと同様な仕上がり感や表面保護の役目も担うことになる。今回得られた適正な表層プレス条件及び樹脂を、床材を連続生産するシステムの構築に役立てたいと考えている。

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) 児玉順一，長谷川良一，井上雅文：日本加工技術協会第 22 回年次大会講演要旨集 pp.73-74，2004。
- 2) 井上雅文，長谷川良一，日比野秀紀：第 54 回日本木材学会大会研究発表要旨集，2004。
- 3) 井上雅文，足立幸司，金山公三：木材学会誌 47，pp.198-204，2001。

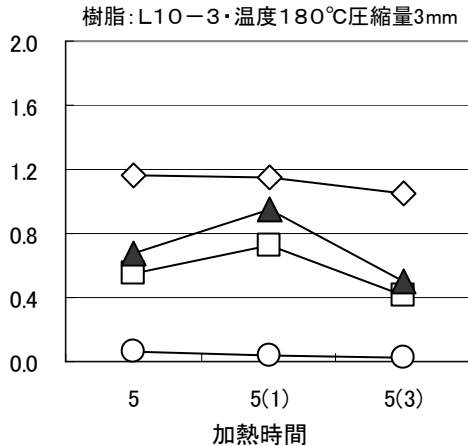


図12 硬化条件とその性能

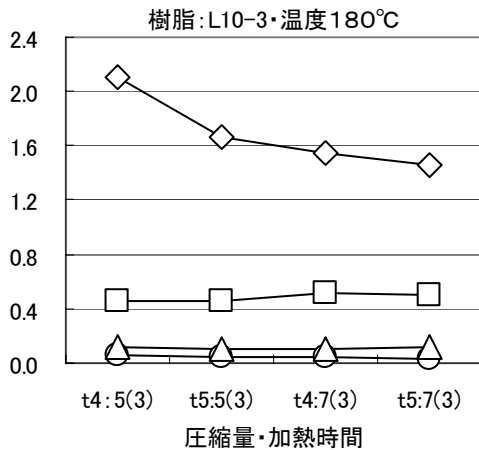


図13 圧縮量・硬化条件とその性能

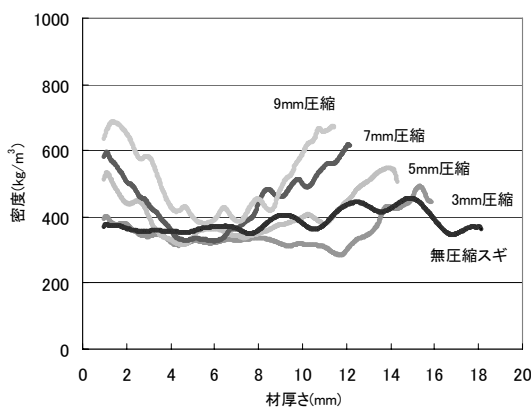


図14 表層圧密木材の材内密度分布

木製品の資源循環利用に関する研究（第1報） 木製品製造業における廃棄物等の実態

村田 明宏^{*1}、長谷川 良一^{*2}

Study on Resource Recycling of Wood Manufacture (I)
Actual condition survey of waste in an industry of Wood manufactures

Akihiro MURATA ^{*1}, Ryoichi HASEGAWA ^{*2}

当県の木製品製造業においてどの程度資源循環を意識したモノづくりがなされているかを把握するため実態調査した。その結果、県内の木製品産業が使用する原材料は多種でありその産地は世界各地である。製品の歩留まりはほぼ 60% であり仕入れた木材の 40% が廃材として排出されており、その廃材の 90% 以上が熱エネルギーの形で利用されている。また、リデュースのためにどの企業も「端材の出ない木取り」を実施しており、端材についても再び集成して素材として用いるなどの取り組みがなされている。木製家具においては布地の張替えや、再塗装などリペア・リユースの件数が増加している。木粉-プラスチック複合材によるリサイクル利用については、価格面・性能面・廃棄面で問題がなければ利用を検討したいとする意見があった。各企業とも今後環境面に配慮したモノづくりが必要であることを認識しており、資源循環社会に向けた取り組みがなされている。

1. 緒言

循環型の社会形成が進む中、家電リサイクル法など家電製品や自動車についてはリサイクルするシステムが確立されているが、旧来型の産業である木製家具などの木製品産業についてはその多くが粗大ごみとして廃棄されており、旧態依然として使い捨てのモノづくりをしている。今後、地球温暖化、二酸化炭素固定の観点から木質製品についても循環型社会の立場にたったモノづくりが必要であり、デザイン・コスト優先ではなく製品企画段階から 3R(Reduce, Reuse, Recycle) を考慮したモノづくりが必要である。

こうした中、当県の木製品製造業においてどの程度資源循環を意識したモノづくりがなされているかを把握するため、アンケートおよび聞き取りにより、原材料からどの程度が廃棄物として排出されているのか、リデュースやリユースの実態はどうなっているのか、リサイクル木材などへの関

心はどうかかなどについて調査した。

2. 調査方法

2.1 実態調査

2.1.1 アンケート調査

小規模事業者が多い県内木製品製造業の中で廃棄物量が比較的多いと思われる木製家具製造業を中心として木製品製造企業 52 社にアンケートを送付し、実態調査を試みた。回収率はおよそ 38% の 20 企業から回答を得た。内訳は木製家具製造業 11 社、木製建具製造業 2 社、木製品製造業 3 社、家具素材・造作材等木製素材製造業 4 社である。

調査内容は、原材料木質材料副資材木材以外の仕入先と使用量、廃材としての排出量と歩留まりである。また、リデュースとして廃棄物低減化のための工夫、リユースもしくは長く使用するための自主製品のリペア状況、木材をリサイクルするためのリサイクル木材(木粉プラスチック複合材)への取り組みについてである。

2.1.2 聞き取り調査

前述の回答があったアンケート調査企業のうち

^{*1} 試験研究部（住環境研究室）

^{*2} 試験研究部（木質材料研究室）

5社について回答内容について聞き取り調査を実施した。

3. 結果と考察

県内木製品産業は家具・建具から木製玩具・造作材や製材など多岐にわたっており、また同じ木製家具製造においても製品のデザインや企業の特徴により木材種・製品形状による廃材の排出量の違いなどさまざまである。これらを一様に解説することは困難であるが、大まかな傾向を見出すことができたので以下に示す。

3.1 資源の活用状況について

県内の木製品産業が使用する原材料は多種でありその産地も多様である、家具関係はナラ・ブナを中心として、タモ・メープルやウォールナットなど広葉樹を、建具・関係ではスギ・ヒノキを中心として米ヒバ・アガチス・スプルスなど針葉樹材を使用している。また、木質素材産業は地産地消であり県内で伐採されるスギ・ヒノキ・ミズナラなどを使用している。木材の産地は、東南アジア・日本・ロシア・北米・南米・オセアニア・欧州と世界各地から木材が来ている。

図1に木製家具製造業における木材(合板など木質材料をのぞく)の生産地別の構成割合を示す。アメリカ・カナダの北米材は使用量の40%を占め、ホワイトオーク・アッシュ・メープルといった樹種が輸入されている。また、中国国内の森林保護による伐採禁止により中国経由でロシア産のナラ・タモなどが使用量の1/3(33%)が入ってきている。残りは各10%ずつ欧州産ビーチ、国産のミズナラ・ブナ、東南アジア産のゴムなどが入って来ている。

合板やMDF、パーティクルボードなど木質素材についてはシックハウス対策のF 対応製品が少ないためかオセアニア産など一部を除きほとんど国産のものが使用されている。

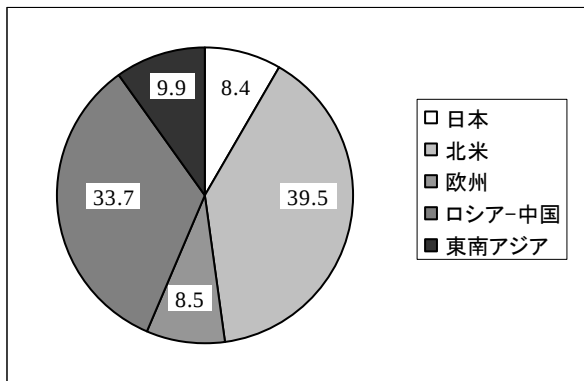


図1 産地別木材使用量[%]
- 木質材料除く：脚物家具 -

3.2 製品になったときの歩留まりについて

製品になるときの木材の歩留まりを表1に示す。丸太から角材・平角材などになるときにすでに55～60%となる。さらに、角材などから椅子・テーブルとなるとときには50～60%であることから、丸太から椅子・テーブルになると30～40%になると考えられる。テーブルや食器棚・リビングボードなどは企業間における差異は大きくないが、椅子については製品のデザインや加工方法により歩留まりは大きく異なり25～70%と幅があった。高級品ほど歩留まりは悪く、規模が小さい工房になるほど歩留まりは良くなる傾向にある。

また、副資材では接着剤・塗料の使用量が多く、接着剤については80%の歩留まり、塗料はスプレーだと35%程度、刷毛塗りや無用剤型のもので60%程度の歩留まりである。

製品出荷後は数%がクレーム品として戻ってきて再び部品交換等され製品となり出ていく。大きく分けて4つのクレームであり、製品の環境変化に伴う木材の割れ、同様の要因による反り、塗装色の不良や木目・節が気に入らないなどの問題、製品運搬中の傷・破損である。これらのクレームによってさらに歩留まりは悪くなる。

製品名	素材→製品	歩留まり
柱・平角材	丸太→製品	55
家具用角材		45
椅子	板・角材→製品	50
テーブル		60
食器棚・ボード		65
建具		80
デッキ・フェンス		50
木製玩具等		55

表1 製品の歩留まり
(素材の何%が製品となるのか) [%]

3.3 廃材の排出量について

今回のアンケート調査では、仕入れた木材・木質材料のうち概算で40%が廃材として排出されている。しかし、これら木質系廃材はその90%以上が、曲げ木などホットプレスの蒸気熱源や冬季の暖房用として熱エネルギーの形で利用されている。また、牛舎の敷き藁代わりに木粉を提供しているほか、チップとして製紙原料として利用されている場合もある。したがって、木質系の廃材についてはそのほとんどがゴミとならずに有効活用されている。しかし、熱エネルギーとして利用することは、ワンウェイ活用となり再び素材として利用

することは出来ない。今後より付加価値のある利用方法などの検討も必要であると感じた。

副資材である接着や塗料かす等については焼却されたり、産業廃棄物として排出されている。また、ダンボールや廃プラスチックについてはリサイクルされている状況にある。

3.4 リデュース:廃棄物低減化のための努力

どの企業も挙げている事柄は「端材の出ない木取りの徹底」であり、中にはコンピュータソフトを導入しているところもある。また、「端材の再利用」を挙げている企業も多い。端材を再び集成して素材として用いたり、より小さな部材の木取りを実施したり、系列企業の他工場で活用したりしている。

副資材関係では、接着剤は機械塗布から手による塗布に戻して歩留まりを上げたり、塗装では塗料の再生利用、搬送用の梱包材料については梱包規格の統一や、ダンボールからプラスチック製のリユース品への転換など企業それぞれでムダを省くために努力されている。

必要な部材を素材企業のカット品（部品形状に粗取りしてある）として自社の歩留まりを向上されている企業が数社見受けられたが、歩留まりの悪い部分を川上の素材メーカーに押し付けているだけであり、実際の丸太から製品までの歩留まりを考えたときには効果が果たしてあるのか疑問視される低減化策も見受けられた。

3.5 リユースについて

日本では戦後の経済成長期の遺産として家具や建具などは消費財であり使い捨てがあたりまえのものであったが、欧米では家具は代々受け継がれていくものも多く、骨董などとして大切に扱われているものも多い。近年当県の木製脚物家具は無垢材を多用しやや高級な部類に入るモノづくりをするようになっており、世代を超えて長く利用されるようになってきている。このため、リペアの要望も多く、脚物家具メーカーのほとんどが椅子の布地・籐の張替えや、破損した部品の交換、椅子やテーブルの再塗装などを手がけるようになっている。このようなリペアが年間数十から数百件持ち込まれる企業もあり、また積極的にリペア・リユースに取り組む企業も出てきていることから、今後家具のリユースが日本にも定着していくことが予想される。

3.6 リサイクル素材の活用について

燃料として熱エネルギーに変換するだけでなく、端材を集成材やパーティクルボード、MDFなどとして利用するだけでなく、もっと細かい木粉とプラスチックの複合材として何回もリサイクルし

て利用するという考えがある。この木粉-プラスチック複合材の利用の可能性について調査した。

ほとんどの企業が検討していないという回答であったが、すでに製品の一部に導入している企業が1社あったほか、すでに研究した企業や検討していると回答した企業が各1社あった。検討しないと回答した中で価格面・性能面・廃棄面で問題がなければ利用を検討したいとする意見が4社あり、第1はコストとそれに見合う性能を発揮できれば導入が進むものと思われる。

以上のとおり今後、社会が資源循環型となっていく中で、製品の環境性能という性能が重要であり、リサイクル素材の活用が今後のモノづくりには必要不可欠になってくることを各企業とも認識されており、徐々にではあるがそれぞれ取り組まれていることが把握できた。

4. まとめ

当県の木製品製造業においてどの程度資源循環を意識したモノづくりがなされているかを把握するため、原材料や廃棄物、リデュースやリユース・リサイクル素材の実態はどうなっているのかを調査した。その結果以下の知見を得た。

- (1) 県内の木製品産業が使用する原材料は多種でありその産地も多様である。家具製造業を見ると、北米産材が40%、ロシア産材が30%、欧州産材・国産材・東南アジア産材が各10%となっている。また、合板やMDF、パーティクルボードについてはほとんど国産のものが使用されている。
- (2) 製品の歩留まりは、角材・平角材で55%程度、椅子・テーブルで50～60%、木製品が55%程度、建具が80%程度であり、丸太から椅子までを考えると30%以下になってしまう。また、椅子については製品のデザインや加工方法により歩留まりは大きく異なる。
- (3) 仕入れた木質材料のうち40%が廃材として排出されており、その90%以上が蒸気熱源や冬季の暖房用として熱エネルギーの形で利用されている。副資材の廃材については産業廃棄物などとして処分されている。
- (4) リデュース(廃棄物低減化)のためにどの企業も「端材の出ない木取りの徹底」を実施しており、端材についても再び集成して素材として用いるなど廃棄物を少なくする取り組みがなされている。
- (5) 木製家具については、従来の使い捨てからリユース・リペアして長く利用されるようになってきており、椅子の布地の張替えや、破損

した部品の交換、再塗装などリペアが年間数十件以上持ち込まれる企業もあり、また積極的にリペア・リユースに取り組む企業も出てきていることから、今後家具のリユースが日本にも定着していくことが予想される。

- (6) 木粉-プラスチック複合材の利用について調査したところ、ほとんどの企業が検討していないという回答であったが、すでに製品の一部

に導入している企業があったほか、価格面・性能面・廃棄面で問題がなければ利用を検討したいとする意見があり、製品の環境性能に配慮したモノづくりが今後期待される。

謝辞

本研究の推進にあたり、調査にご協力いただいた県内木製品製造業の方々に感謝の意を表します。

木製品の資源循環利用に関する研究（第2報） 木材・プラスチック複合材の耐候性について

今西 祐志^{*1}、関 範雄^{*2}、高橋 智佳^{*3}

Study on Resource Recycling of Wood Manufacture (II) Weathering Properties of Wood-Plastic Composite

Hiroshi IMANISHI ^{*1}, Norio SEKI ^{*2} and Chika TAKAHASHI ^{*3}

ヒノキ木粉とポリプロピレンを複合した木材・プラスチック複合材の耐候性を検討するため、促進耐候性試験機を用いて促進劣化処理（水噴射あり）を行い、色および表面性状の変化を調べた。同時に、リグニンを紫外線吸収剤として利用する試みとしてクラフトリグニンの複合を行い、同様に耐候性を調べた。その結果、クラフトリグニン添加による材料の濃色化は白化を促進させると推察され、木粉の膨潤収縮によって生じたと考えられる微細な亀裂も白化の原因と推察された。

1. 緒言

近年、世界中で頻発する異常気象に対する危機感から、その原因とされている温室効果ガスによる地球温暖化への関心がますます高まって来ている。世界気象機関（WMO）などが気候変動を科学的に総括するために設立された、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）は、第4次報告書^{1, 2)}の中で、人間の経済活動による温室効果ガスの増加が地球温暖化をもたらしたことを明確にした。これにより、地球温暖化が人為的であるということについて、世界が共通認識を持ったといえる。

温室効果ガスの濃度は、産業革命以前には約280 ppmであったが、現在は約370 ppmにまで上昇している。さらに、温室効果ガスの人為排出量は約63億 t/年であるのに対し自然吸収量は約31億 t/年しかなく、温室効果ガスの濃度は毎年約1.5 ppm上昇し続けている状態にある³⁾。さらなる地球温暖化を抑制するためには、温室効果ガスの排出を削減するとともに、吸収を増大させる必要がある。2005年に発効するに至った京都議定書は、その取り組みを世界的な仕組みとして推進していこうとする

ものである。

約束期間内での各国ごとの削減率達成を目標として掲げている京都議定書には、京都メカニズムが盛り込まれており、そのうちの一つに吸収源活動がある。これは、「植林」、「森林管理」、「放牧地管理」、「植生の管理」を、CO₂削減の数値目標の達成に利用するものである。すなわち、森林資源を有効利用することにより森林を活性化し、健全な再生産サイクルを構築することは極めて重要であると言える。

森林資源の利用方法は様々であるが、樹木が光合成によって十分な大きさまで成長するのに相当な時間を要することを考えると、マテリアル利用によってCO₂が固定されている状態を長期に延ばす取り組みは非常に意義のあることと考えられる。

木質資源のマテリアル利用の状況を概観すると、木質資源は製材や集成材、合板、木質ボードなど、さまざまな形で利用されているが、間伐材や林地残材、製材工場等残材、建設発生木材などの形で廃棄される木質資源は年間約1300万 tを超える。そのうち、製材工場等残材と建設発生木材については利活用が進められており、未利用の木質資源の年間発生量は約550万 tであるが、そのうちの3分の2を占める間伐材と林地残材に関しては、利活用の方法が10年以上も前から課題とされていなが

^{*1} 試験研究部（生活支援機能研究室）

^{*2} 産業技術センター紙研究部

^{*3} 試験研究部（住環境研究室）

ら、未だにほとんど未利用のままとなっている⁴⁾。

その原因としては、木質資源で典型的なカスケード利用に不適であること、広く薄い存在状態、水分含有量の多さ、収集の困難さ、事業の採算性の問題等が挙げられる。しかし、材をいったん小さいエレメントに加工し、それを原料として任意の寸法形状の製品に再構築し、さまざまな用途に耐えうるような性能を付与して経済的価値を高めることができれば、間伐材や林地残材などの未利用材の利用促進が図られるものと考えられる。

そこで本研究では、木粉を原料とした成形材料である木材・プラスチック複合材に着目した。これは、粉碎などの方法によって粉末状態とした木材を熱可塑性のプラスチックと混合し、溶融・混練して、プレス成形や押出成形、射出成形などのプラスチック成形技術によって様々な形状の製品としたものである。欧米を中心に広く認知された材料で、その研究は1970年頃から数多く行われてきている⁵⁾。当初木材は、プラスチックを成形する際に添加する増量材として用いられていた。その後、埋蔵資源の枯渇に対する危惧を背景として木材割合を高める方向に検討が進められ、現在では、70～95 wt%の木材を含む高木材比率の押出成形体の製造が可能となっている⁶⁻⁹⁾。成形速度も改善されてきており⁹⁾、押出成形による木材・プラスチック複合材については、すでにいくつかの実用化例がある⁸⁻¹³⁾。国内においても10年ほど前から様々な検討が行われてきており、昨年には、材料の品質、性能、生産方法、試験方法等について統一を図るJIS¹⁴⁾が施行された。

しかしながら、国内における木材・プラスチック複合材市場の拡大は鈍く、なかなか需要が伸びない状況にある。主な原因としては、耐候性、耐衝撃性、耐熱膨張などの点で、ユーザが要求する性能を材料が満足していないことが挙げられる。本報では、まず木材・プラスチック複合材の耐候性に着目し、材料表面が白く変色する現象（白化現象）を抑制する手法を探索するため、そのメカニズムについて検討した。同時に、木材の構成成分の一つであるリグニンについて、紫外線吸収剤としての可能性について調べた。リグニンの分子構造の中にはベンゼン環があり、これが紫外線のエネルギーを吸収する機能を持っている。本報では、パルプ製造工業から排出されるクラフトリグニンの利用の可能性を検討した。

2. 実験

2.1 試験体の作製

木粉は、製材工場から排出されたヒノキ廃材(端

材)を機械的に粉碎したもので、目開きφ5 mmのスクリーンを通過したものである。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れた材料)で、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を8:2の比率で混合してペレットとし、さらにクラフトリグニン(KL)を混合し、タンブラーにて攪拌した。KLの混合割合は0、10、30%とした。

混合材料を成形機に投入して加熱し、溶融状態でスクリュによって金型から押し出して成形を行った。材料の溶融時の温度は約170℃、押出速度は約1 m/minである。得られた押出成形体の断面寸法は60×6 mmである。

KLの混合割合の異なる3種の成形体を、L0、L1、L3と称す。各成形体の木粉、PP、KLの混合比率は、L0で80:20:0、L1で72:18:10、L3で56:14:30である。

2.2 促進劣化処理

耐候性の検討は促進劣化処理により行った。処理は、キセノンアークランプを光源とする促進耐候性試験機(スガ試験機(株)製、SX75)を用いて、放射照度180 W/m²、ブラックパネル温度63℃、水噴射ありの条件で行った。試験時間は、120 minの処理(照射および水噴射を18 min、照射のみを102 min)を1サイクルとする繰り返しで、最長100 hとした。試験体数は各条件で3である。

2.3 劣化評価

劣化評価は、色測定および表面観察により行った。色測定には分光式色差計(日本電色工業(株)製、SE-2000)を用いた。木粉粒子が比較的大きいので、試料面について安定した測定値を得るために測色径は30 mmとした。表面観察にはデジタルマイクロスコープ((株)キーエンス製、VHX-100)を使用した。

3. 結果と考察

3.1 試験体外観の変化

図1に、促進劣化処理を行う前と後の試験体の外観を示す。処理前の試験体はいずれも、木粉の形状が認識できる状態であり、また、KLを添加したL1とL3は、L0よりかなり濃色化していることが分かる。処理後の試験体は、照射50 hでいずれも白化が進行し、その程度は、クラフトリグニンの添加量が大いほど顕著であった。

図2に、明度指数 L^* の変化を示す。 L^* はいずれの試験体でも、処理時間の経過とともに上昇する傾向にあり、とくに処理開始直後の変化割合が大きかった。そして各試験体の L^* の値は、処理時間

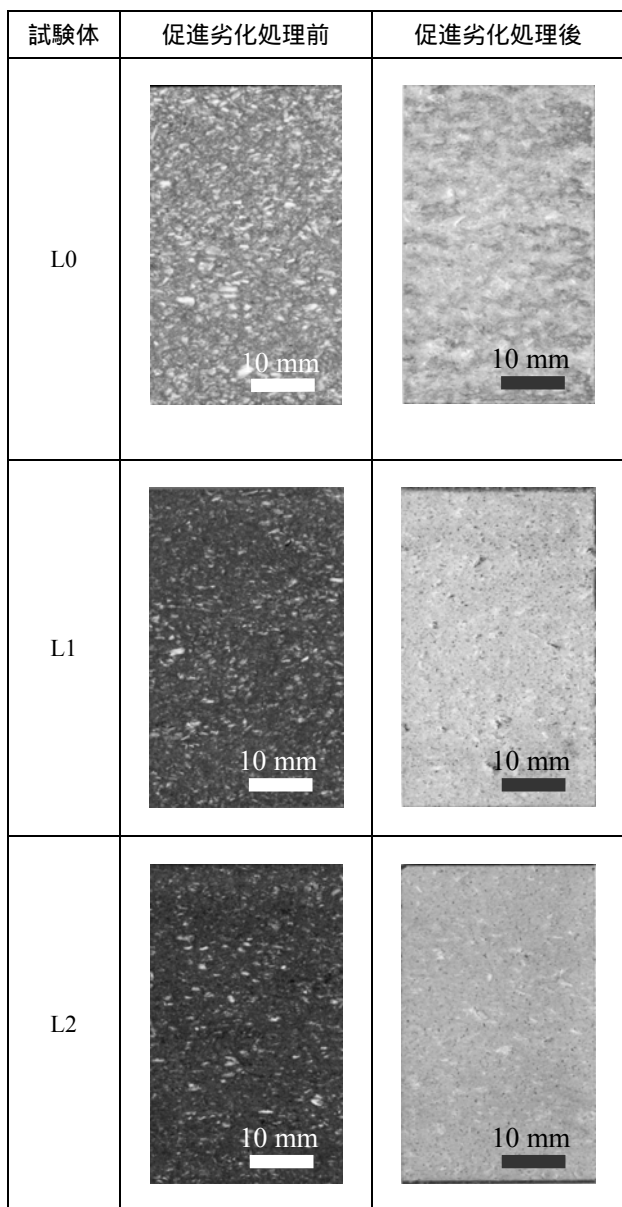


図1 試験体外観の変化

注：促進劣化処理 50 h

が経過するにつれて差が小さくなる傾向にあった。

図3に、色相 a^* 、 b^* の変化を示す。 a^* の値は、いずれの試験体でも概ね単調な下降傾向にあった。一方、 b^* の値は、処理開始直後にいったん上昇し、その後、下降する傾向がいずれの試験体でも見られた。図4は、色の变化を表す色差 ΔE^*ab の変化である。 ΔE^*ab は、処理時間の経過とともにいずれの試験体でも上昇した。とくにKLの添加により濃色化したL1およびL3の色差の上昇が顕著であった。これは、濃色化によって表面温度が上昇しやすい状態となっており、PPの劣化が進行しやすいことが関係していると推察される。

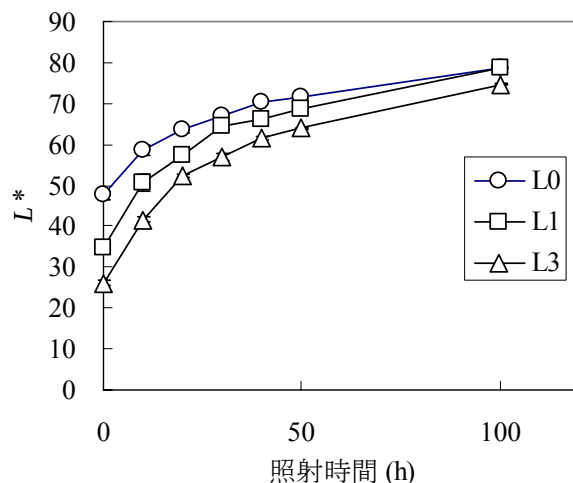


図2 明度指数 L^* の変化

注：L0：クラフトリグニン（KL）添加なし

L1：KL 10%添加

L3：KL 30%添加

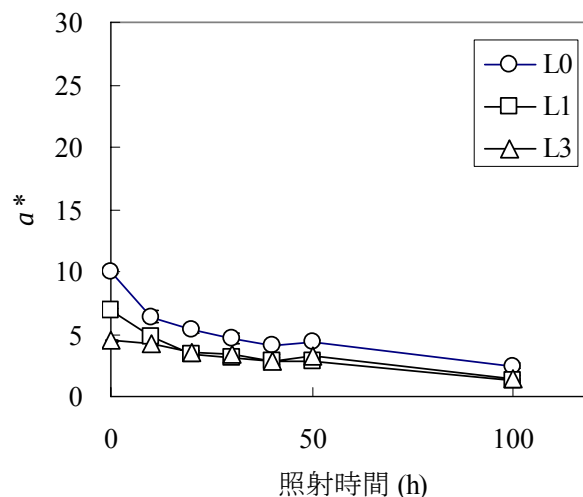
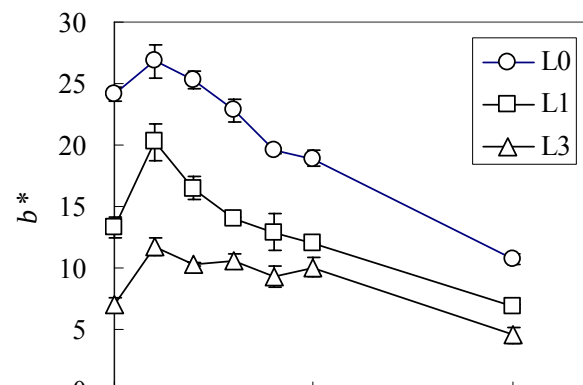


図3 色相 a^* 、 b^* の変化

注：L0：クラフトリグニン（KL）添加なし

L1：KL 10%添加

L3：KL 30%添加

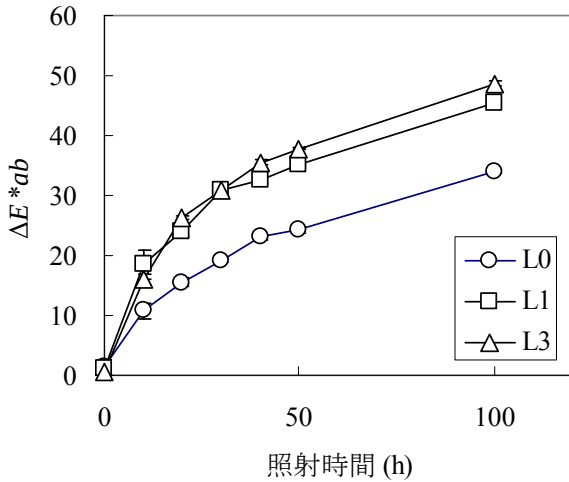


図4 明度指数 L^* の変化
 注：L0：クラフトリグニン（KL）添加なし
 L1：KL 10%添加
 L3：KL 30%添加

3.2 表面性状の微視的变化

図5は、促進劣化処理を行う前と後の試験体表面の様子である。木粉粒子部分の色に着目すると、処理の前後で色の変化はあまり顕著ではない。一方、PPとKLが豊富に存在する部分では白化が顕著であり、試験体外観の白化は主に樹脂部分のそれによるものと考えられる。そして、木粉粒子と樹脂との境界に着目すると、処理後には亀裂が生じていることが確認できる。これは、促進劣化処理の際に、試験体が乾湿繰り返しの状態に置かれ、木粉粒子が収縮と膨潤を繰り返したことによって発生したものと思われる。亀裂は、木粉粒子と樹脂との境界で顕著に確認できるが、それ以外の樹脂部においても微細な亀裂が生じていると推察され、それによって生じた光の散乱も試験体表面の白化の一因と思われる。

4. まとめ

木材・プラスチック複合材の耐候性に着目し、材料表面の白化のメカニズムについて検討した。同時に、木材の構成成分の一つであるリグニンについて、パルプ製造工業から排出されたクラフトリグニンの紫外線吸収剤としての可能性について調べた。得られた知見は次のようにまとめられる。

1. クラフトリグニンの添加によって生じる材料の濃色化は、材料に光が照射された際の温度上昇を助長してPPの劣化を促進し、白化の原因になると推察される。

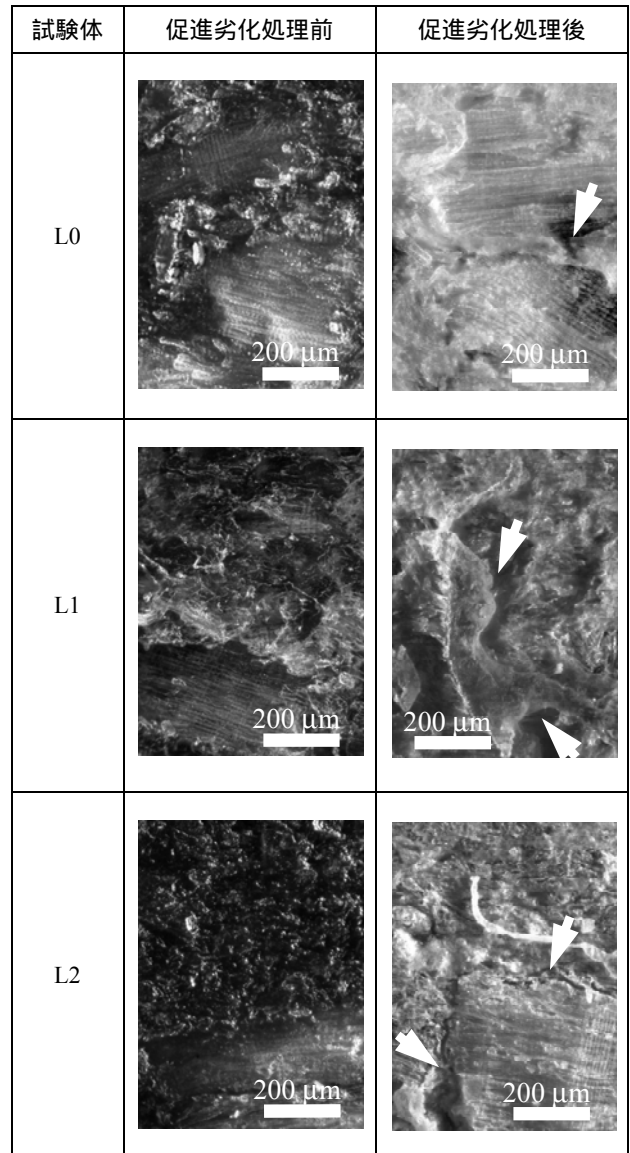


図5 試験体表面の微視的变化
 注：促進劣化処理 50 h

2. 材料が乾湿繰り返しの状態に置かれると木粉が収縮と膨潤を繰り返す、それによって材料表面に微細な亀裂が発生して光の散乱が生じ、材料表面が白化状態になると推察される。以上のことから、木材・プラスチック複合材の白化を抑制するためには、紫外線吸収剤にリグニンを用いる場合にはその添加方法の検討、および、木粉の膨潤収縮を抑制する手法（木粉の前処理、木粉の寸法形状、材料の混練方法など）の検討が必要と考えられる。

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) IPCC, 2007: IPCC第4次評価報告書.
- 2) 気象庁, 2007: 気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 第4 次評価報告書 第1作業部会報告書 (自然科学的根拠) の公表について.
- 3) 環境省, 2005: STOP THE 温暖化.
- 4) 内閣府, 2006: バイオマス・ニッポン総合戦略.
- 5) 岡本忠: 木材学会誌, 49, pp.401-407, 2003.
- 6) 柏山晃毅, 前田直実: 木質プラスチック研究会 第1回研究会要旨集, 京都, 2001, pp.1-11 (2003) .
- 7) Polts, K., 柏山晃毅, 前田直実: プラスチックス, 51 (5) , pp.26-31, 2000 .
- 8) 前田直実: 日本接着学会誌, 37, 487-492 (2001)
- 9) Clemons, C. : Forest Prod. J., 52 (6) , pp.10-18 , 2002 .
- 10) Rowell, R. : 木質プラスチック研究会 第3回研究会要旨集, 奈良, 2002, pp.1-7 .
- 11) 柏山晃毅, 前田直実: プラスチックス, 52 (5) , pp.26-31, 2001 .
- 12) 長谷川正: ポリマーダイジェスト, 53 (4) , pp.45-55, 2001 .
- 13) 沢田慶司: ポリマーダイジェスト, 54 (1) , pp.79-88, 2002 .
- 14) JIS A 5741-200 (木材・プラスチック再生複合材).

木製品の資源循環利用に関する研究（第3報） 曲げ木の加工現場における現状

高橋 智佳^{*1}、長谷川 良一^{*2}

Study on Resource Recycling of Wood Manufacture (III) The Present Conditions of Process of the Bent Wood

Chika TAKAHASHI^{*1}, Ryoichi HASEGAWA^{*2}

熟練工の経験と勘に基づき構築されてきた曲げ木技術の継承及び、改善のために、最適な加工条件を指標化することを目的として、曲げ木工程の現状を把握し、課題について検討した。

- (1) 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あった。
- (2) 蒸煮直後の含水率には材間で約 3%の差があり、高周波乾燥後の含水率も大きくばらつき、乾燥不足が懸念された。
- (3) 乾燥後の材において、湿度変化に伴う含水率変化量が多いほど、曲げの戻りも大きかった。
- (4) 高周波乾燥により含水率約 12%まで乾いた材の内部で焦げがみられた。

1. 緒言

古くから、木材を蒸煮あるいは煮沸し、治具を用いて曲げる、トーネット法という曲げ木法が知られている。曲げ木部材は目切れがなく丈夫で、美しい風合いを醸し出すことから、家具部材として多く取り入れられてきた。

岐阜県飛騨地域は木製家具の産地であり、「飛騨家具」のブランド性は高く評価されている。飛騨の家具にも、この「曲げ木」技術が多く用いられている。しかし、「匠の技」と呼ばれる曲げ木は、熟練工の経験と勘に基づきなされており、技術継承が難しく、団塊世代の退職には緊急に対処すべきである。また、曲げ木の技術に関する情報はほとんどなく、曲げ木の組織構造¹⁾や、材の厚さと曲率の関係²⁾が検討されてきたにすぎない。

そこで、本研究では、今後もこれら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、不良率の低減を可能にする最適な加工条件を見だし、指標化するために、加工時の

材の状態を詳細に検討する。

はじめに、曲げ木工程の現状を把握し、改善すべき課題について検討したので報告する。

2. 調査

2.1 材料

1年半以上、天然乾燥したナラ材（*Fagaceae Quercus crispula* Blume）。形状は長さ820mm、両端部直径25mm、中央部直径40mmの丸棒（図1）である。10月上旬及び12月上旬の2回に各10本ずつ調査した。1回目、2回目に行った材料をそれぞれグループ1、2とする。加工前の状態を表1に示す。なお、密度及び含水率は、丸棒の採取部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、また、温度20℃、相対湿度(RH)65%下で24時間放置した状態を気乾状態として測定し、気乾含水率は全乾法にて求めた。なお、10月に調査したときの工場内の環境は外部とほぼ同様であったが、12月の際には空調によって暖められていた。

^{*1} 試験研究部（住環境研究室）

^{*2} 試験研究部（木質材料研究室）



図1 曲げ木加工部材

表1 グループ1及び2の材の状態

	全乾 密度(g/cm ³)	気乾 密度(g/cm ³)	気乾 重量(g)	気乾 含水率(%)
1-1	0.65	0.70	542	14.9
1-2	0.59	0.64	557	14.8
1-3	0.68	0.73	567	14.7
1-4	0.59	0.64	557	14.8
1-5	0.61	0.66	478	14.6
1-6	0.70	0.75	588	14.6
1-7	0.66	0.71	551	14.8
1-8	0.60	0.65	576	14.8
1-9	0.64	0.70	555	14.8
1-10	0.71	0.77	649	15.1
2-1	0.72	0.77	622	15.9
2-2	0.77	0.83	655	15.8
2-3	0.73	0.78	634	15.9
2-4	0.74	0.79	637	15.4
2-5	0.62	0.67	565	15.5
2-6	0.78	0.82	662	15.3
2-7	0.62	0.68	605	15.4
2-8	0.76	0.82	651	16.4
2-9	0.72	0.78	625	16.0
2-10	0.70	0.76	622	15.9

2.2 曲げ木の加工工程

曲げ木加工は、図2aから図2dに示す5工程（蒸煮・曲げ・高周波乾燥・冷却・養生）から成る。1回の作業につき、無作為に抽出した10本を加工する。したがって、表1に示すように、材間の重量差はかなり大きく、蒸煮や高周波乾燥時における密度の影響が懸念された。

まず、釜内で50分間水蒸気により蒸煮（図2a）し、すぐに型に合わせて曲げる（図2b）。続いて、高周波（周波数:13.56MHz、電圧:200V、電流:0.3～0.4A）を発振させ、1時間乾燥させる（図2c）。その後、型にはめた状態で直ちに扇風機にて送風冷却を行い、2時間養生（図2d）させて、曲げ加工は完了する。現状では、曲げ時の折れや座屈、乾燥時の内部焦げや内部割れ、養生後の曲げの戻り等の問題が生じている。



図 2a 蒸煮



図 2b 曲げ



図 2c 高周波乾燥



図2d 冷却・養生

3. 検討

曲げ木の不良箇所を改善するために、加工工程における材の状態を把握・検討した。

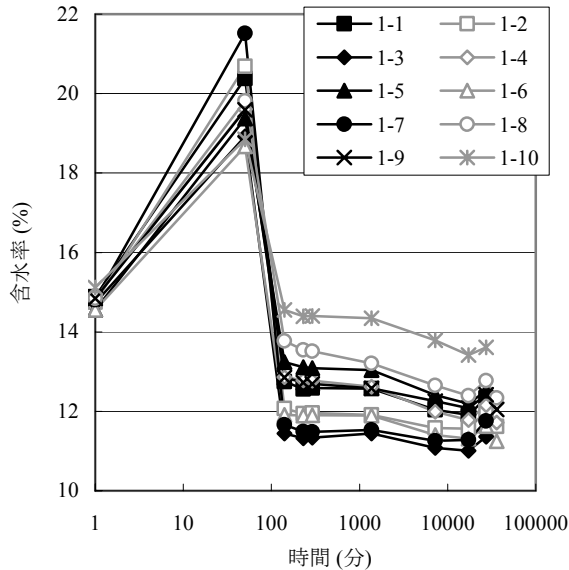


図3a グループ1の含水率変化

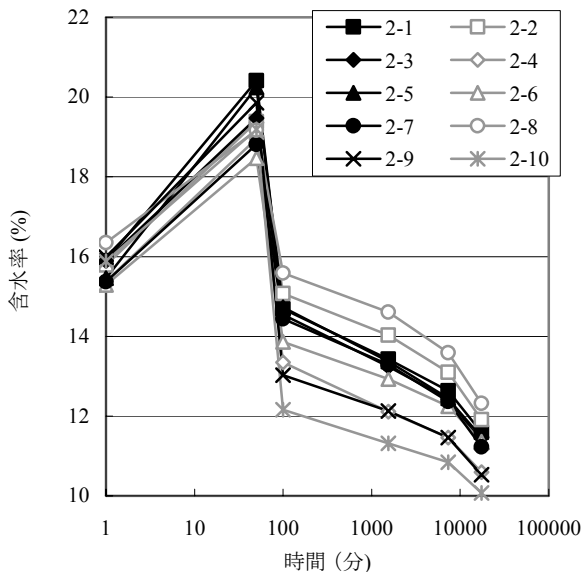


図3b グループ2の含水率変化

Note) 時間表記... 蒸煮前:1分
蒸煮直後:50分
高周波乾燥直後:100分
乾燥1日後:1540分
乾燥5日後:7300分

3.1 含水率の変化挙動

改善課題である折れ、座屈、焦げ、割れ、曲げの戻り等に及ぼす含水率の影響を検討するため、工程ごとに重量を測定し、含水率を求めた。その結果を図3a及び図3bに示す。図3a・3bから、蒸煮直後の含水率には材間で約3%の差があることがわかる。本調査では、曲げ時の折れや座屈等の問題は認められなかった。

また、高周波乾燥直後の含水率は大きくばらついており、家具部材としては乾燥不足が懸念される。この乾燥不足が、曲げの戻りの原因とも考えられるが、重量から求めた含水率では、材内の水分分布の有無や程度を把握できず、今後の検討を要する。しかし、蒸煮後の含水率の高低が乾燥程度に影響する傾向はないようである。また、部分的な乾燥が、材内部の焦げや割れの原因とも考えられるので、温度変化を同時に測定し、材間あるいは材内の水分分布の観察を今後行う。

3.2 曲げ変形の安定性

乾燥後の曲げ変形の戻りと含水率変化との関係を検討した。グループ1の材5本を、20・90%RHに24時間(W1)、20・30%RHに24時間(D1)、再度20・90%RHに24時間(W2)、20・30%RHに24時間(D2)保持した。各環境での保持後、含水率を測定し、高周波乾燥後の含水率から増加した含水率量を図4に示す。また同時に、最も曲がっている部分の高さを図5aのように測定し、最初の高さに対する変化量の割合を図5bに示す。

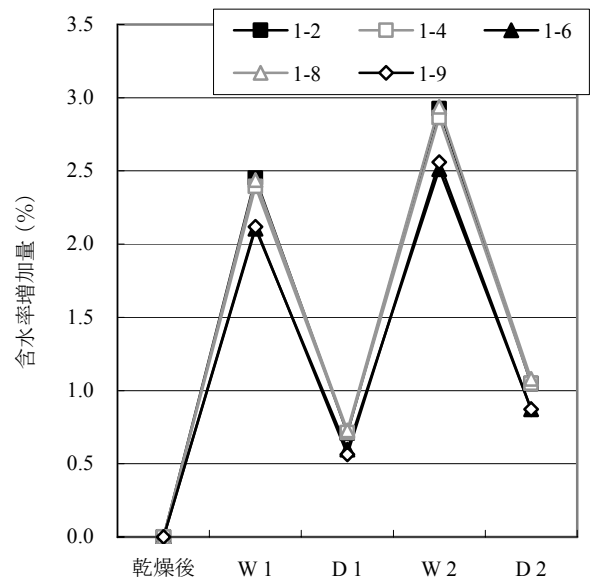


図4 乾湿繰り返しに伴う含水率変化率



図5a 最大曲げ部の高さ測定

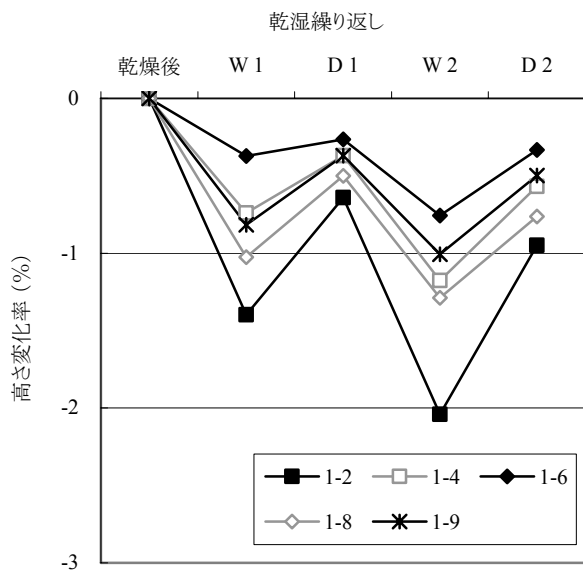


図5b 最大曲率部の高さ変化率

含水率の変化量が比較的多かった材1-2と1-8の高さ変化率がやや大きかった。すなわち、含水率が変化するほど、曲げの戻りも大きくなると考えられる。しかし本調査だけでは、高さの変化率への影響因子は不明である。今後、乾燥の速度や程度、材の密度等との関連性を検討する。

3.3 内部の材色

ホゾ穴をあけたり、ある形状に面加工や形状加工したりする家具部材にとって、高周波乾燥の過程で生じる焦げは、不良の大きな原因である。そこで、含水率変化と材内の色合いとの関係を検討した。材を縦方向に半分に切断し、縦断面を撮影した写真を図6a、6bに示す。図6aの上から順に1-1、1-2、...1-10、図6bの上から順に2-1、2-2、...2-10である。図6a・6bの材の左端部は、図2cで示した高周波乾燥の際に、上部になっており、直接電極板に接していないことから、最も温度上昇が少なかったと推測し、この左端部の明るさ (L^*) を0

とし、この部位から10cmごとの明るさを色差計にて測定した。その結果を図7a、7bに示す。



図6a グループ1

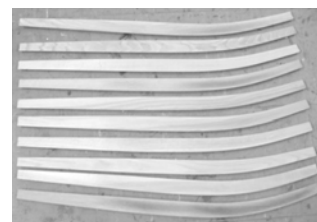


図6b グループ2

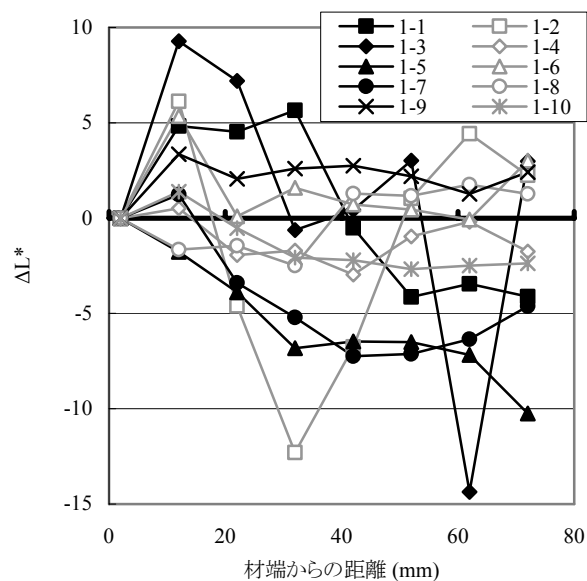


図7a グループ1の材ごとの L^*

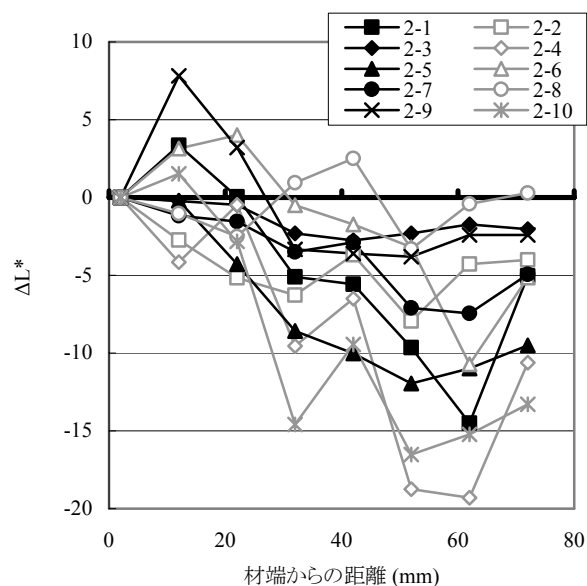


図7b グループ2の材ごとの L^*

現在、見た目で ΔL^* が-15となる色変化に相当する色合いの材は焦げによる不良とされ、破棄されている。したがって、本調査の段階では3割の不良率である。焦げが大きく認められた材は、図3a、3bからもわかるように、12%前後の含水率にまで乾燥した材である。しかし、家具部材では最低限ここまでは乾燥させる必要があり、むしろ他の材が乾燥不足であると考えられる。したがって、すべてを一樣に十分乾燥させ、さらに焦げが生じないようにすることが必須である。

また、図6a、6bのそれぞれ1～10番の材は、高周波乾燥の際に同じ場所で乾燥させているにもかかわらず、全体の乾き具合には相関性がない。したがって、乾燥程度のばらつきの原因として、電極板への電気の流れ方等の不具合が考えられる。蒸煮による水分の導入量や、高周波発振機の電力や乾燥時間、乾燥速度等、さらには、曲げ変形用の型の改良の必要性も含めて、今後の検討を要する。

さらに2-10では割れも観察された（図8）。

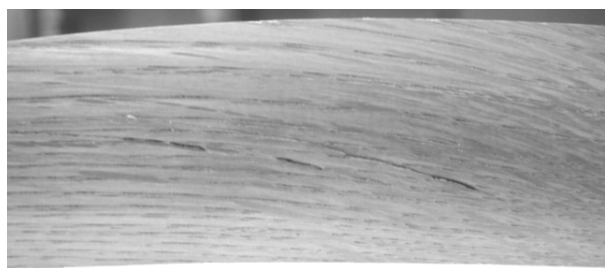


図8 材2-10の割れ部分

4. まとめ

熟練工の経験と勘に基づき構築されてきた曲げ木の技術の継承及び、さらなる改善、また、不良率の低減のために、最適な加工条件を見だし、指標化することを目的として、曲げ木工程（蒸煮・曲げ・高周波乾燥・冷却・養生）の現状を把握し、課題について検討した結果、次の知見を得た。

- (1) 曲げ時には材の折れや座屈、乾燥時には材内部で焦げや割れ、養生後には曲げの戻り等、さまざまな問題が生じている。
- (2) 蒸煮直後の含水率には材間で約3%の差がある。高周波乾燥直後の含水率にも大きなばらつきがあり、乾燥不足が懸念された。
- (3) 乾燥後の材に湿度変化サイクルを与えたところ、含水率の変化量が多いほど、曲げの戻りも大きかった。
- (4) 含水率変化と材内の色合いとの関係を検討した。見た目で ΔL^* が-15となる色変化に相当する色合いの材は焦げによる不良とされている。特に、焦げと判断した材は、12%前後の含水率まで乾燥していた。

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) 今村祐嗣、和田博、則元京、林昭三：木材学会誌Vol.28，No.12，pp.743-749，1982．
- 2) 和田博、坂野三輪子：奈良林試研報，No.16，1986．

上肢支援型起立動作補助装置の開発（第1報） 上肢の影響を考慮した起立動作の剛体リンクモデルの導出と 関節モーメントの有効性検証

坂東 直行^{*1}、堀部 哲^{*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 upper arm power (I)
Solid body link model for the motion of standing up and Capability of evaluation of joint moment

Naoyuki BANDO ^{*1}, Satoshi HORIBE ^{*2}, Hironao YAMADA ^{*3}
Hironobu MORITA ^{*4}, Kunihiko TANAKA ^{*4}

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。

まず本報では、肘掛けを使った起立動作の負担の程度を示す指標を見いだすことを目的に、関節モーメントに着目して有効性を検証した結果を報告する。肘掛けを異なる位置に配置して起立動作を行い関節モーメントを比較したところ、肘掛けの位置変化により変化するという結果を得た。これにより関節モーメントは起立動作における肘掛けの有効性を検証する指標になると考えられる。

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。

本研究を進めるうえで肘掛けを利用した起立動作の容易・困難を表す指標を定めることは、現行商品の機能と新規開発する起立補助椅子の機能を比較するうえで必要である。このとき定めた指標はどの程度起立動作を楽にする効果が得られたのかを把握するうえで定量的であることが望ましく、指標値の増大もしくは減少に寄与した原因を追及するうえでは理論面から考察が可能であることが望ましい。そこで、本研究では工学的視点から身体運動を解析することで、これらを満たす指標の導出を試みる。

身体運動を工学的に扱うとき、動作の負担や動作の効率を表す指標として関節モーメントがよく用いられる。関節モーメントとは、ある関節の中心回りに発生するモーメントの総和のことであり、ある運動を行うために身体が発揮した関節回りに体節を回転させる回転力である。そして関節の機

^{*1} 試験研究部（シミュレーション研究室）

^{*2} 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

機械的な負担を示すものとして扱われる。

関節モーメントは、直接計測することは困難であるが、起立動作を測定し、得たデータを用いて逆動力学から求めることが可能である。また理論面からの考察がしやすいことから、本研究において、起立動作の容易・困難に肘掛けが与える影響を示す指標の有力な候補である。そこで、様々な肘掛け位置における起立動作を計測し、関節モーメントを求めて比較することで、その有効性を検証する。

2. 関節モーメントの導出

2.1 剛体リンクモデル

工学的に、ある起立動作において、どのような関節モーメントが発生しているかを知るためには、身体を力学で扱うモデルとして表現する必要がある。通常は身体を近似的に剛体とみなせる範囲まで分け、ここで分けた体節は剛体であるとし、各体節は機械的に結合されているとして扱う、剛体リンクモデルを利用する¹⁾ことから、ここでも、身体を剛体リンクモデルで表すことにする。

どのような身体運動であっても、それは3次元空間上の動作であるため、3次元の剛体リンクモデルから運動方程式を導出すれば、すべての運動を扱うことができるが、この場合、数学的扱いが煩雑になり全体理解の妨げになるなどの理由から、剛体リンクモデルによる表現は2次元モデルでできるところまで扱うことが多い¹⁾。本研究においても対象とする起立動作を、運動の大部分が体重心の上前方移動に関係しており、その他の影響は微小であるものと想定して、2次元の剛体リンクモデルで扱うこととする。

2.2 運動方程式

関節モーメントを求めるには、剛体リンクモデルの各体節に関する運動方程式を導出し、すべての運動方程式を連立させて末梢側から節間力を消去していく方法が通常用いられる¹⁾。この際、各体節の運動方程式はニュートン・オイラー法から導くことが多い。しかし一般に、ニュートン・オイラー法から系の運動方程式を導出する場合、運動方程式の導出過程で定義した座標系に力の向きと最終的に得られる具体的な運動方程式の形が依存するほか、系に拘束条件がある場合、運動方程式とは別に方程式を導出する必要があるなど、式の導出過程が煩雑になる傾向にある。今回のように剛体リンクモデルの運動方程式を導出する際も、体節数や身体に作用する外力の数が多くなった場合、身体運動全体を表す系の方程式が複雑になり、系全体の性質を理解することが困難となる。この

表1 剛体リンクモデルの記号

l_i	体節長	[mm]
m_i	体節質量	[kg]
J_i	体節の重心まわりの慣性モーメント	[kg · m ²]
λ_i	質量中心比	[-]
P_{C_i}	体節重心位置	[mm]
θ_i	体節角度	[rad]
P_j	関節および体節端点の位置	[mm]
M_j	関節モーメント	[N · m]
g	重力加速度	[m/s ²]

表2 体節と添字 i の対応

i	体節を表す添字
= 1	足
= 2	下腿
= 3	大腿
= 4	体幹（頭部を含む）
= 5	上腕
= 6	前腕
= 7	手

表3 関節及び体節端点と添字 j の対応

j	関節および体節端点を表す添字
= 0	足先端
= 1	足首関節
= 2	膝関節
= 3	股関節
= 4	肩関節
= 5	肘関節
= 6	手首関節
= 7	手先端

ような理由から、本研究ではラグランジュ法に則って剛体リンクモデルの運動方程式を導出することとした。ラグランジュ法では、選択した座標系や拘束条件を別段意識することなく、機械的手続きにより運動方程式を導出することができる。

2.3 式の導出

ここでは、ラグランジュ法を用いて剛体リンクモデルの運動方程式を導出する。

まず、剛体リンクモデルにおける記号を表1のように定義する。ここで質量中心比は部分長に対する中心端からの比である。また、記号の添字 i は体節を表し、添字 j は関節および体節端点を表す（表2、表3）。本研究で扱う剛体リンクモデルを図1に示す。

なお、運動方程式導出にあたり起立動作は次の仮定を満足するものとする。

- ・ 起立動作中、足部は床から離れず動かない
- ・ 左右で同一の動きを行う
- ・ 関節の伸屈にともなう粘性抵抗は無視できる
足首座標の位置を原点とし、矢状面前方をX軸、

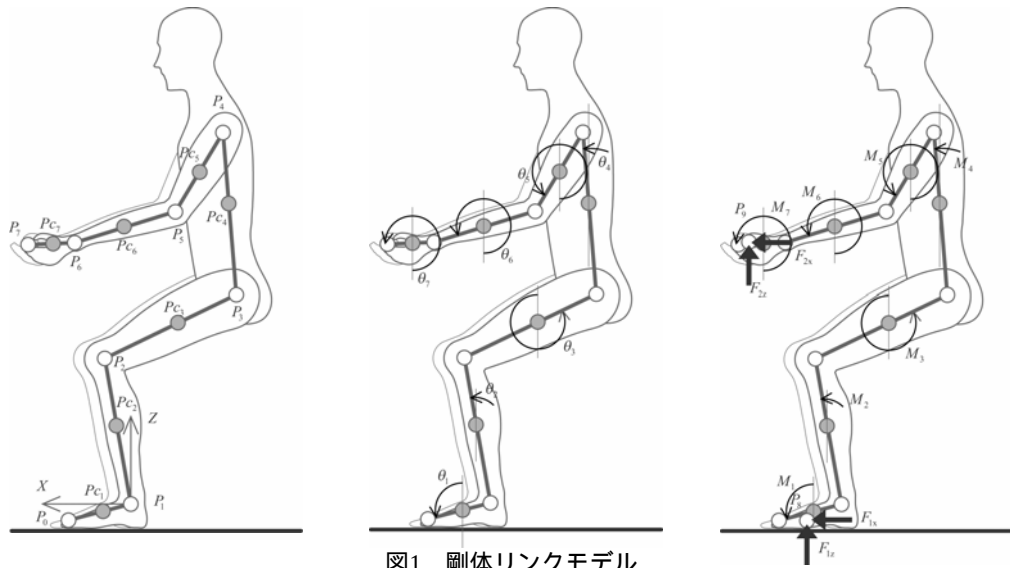


図1 剛体リンクモデル

(左：体節質量中心と関節位置の定義、中央：体節角度の定義、右：関節モーメントと外力の定義)

鉛直上向きをZ軸とする座標系において、各関節点位置 $P_j = (x_j, z_j)$ は次式により定義される。

足首座標位置 P_1 は

$$P_1 = (0, 0)$$

足先端点位置 P_0 は

$$P_0 = (l_1 \cdot \sin \theta_1, l_1 \cdot \cos \theta_1)$$

膝関節位置 P_2 は

$$P_2 = (l_2 \cdot \sin \theta_2, l_2 \cdot \cos \theta_2)$$

股関節位置 P_3 は

$$P_3 = (x_2 + l_3 \cdot \sin \theta_3, z_2 + l_3 \cdot \cos \theta_3)$$

肩関節位置 P_4 は

$$P_4 = (x_3 + l_4 \cdot \sin \theta_4, z_3 + l_4 \cdot \cos \theta_4)$$

肘関節位置 P_5 は

$$P_5 = (x_4 + l_5 \cdot \sin(\theta_5 - \pi), z_4 + l_5 \cdot \cos(\theta_5 - \pi))$$

手首関節位置 P_6 は

$$P_6 = (x_5 + l_6 \cdot \sin(\theta_6 - \pi), z_5 + l_6 \cdot \cos(\theta_6 - \pi))$$

手先端点位置 P_7 は

$$P_7 = (x_6 + l_7 \cdot \sin(\theta_7 - \pi), z_6 + l_7 \cdot \cos(\theta_7 - \pi))$$

ここから、各体節の重心位置 $PC_i = (x_{ci}, z_{ci})$ は次式により表される。

下肢体節の重心位置は

$$PC_i = (\lambda_i \cdot (x_{j-1} - x_j) + x_j, \lambda_i \cdot (z_{j-1} - z_j) + z_j) \\ (i = j, i = 1, 2, 3)$$

体幹の重心位置は、

$$PC_4 = (\lambda_4 \cdot (x_3 - x_4) + x_j, \lambda_4 \cdot (z_3 - z_4) + z_4)$$

上肢体節の重心位置は

$$PC_i = (\lambda_i \cdot (x_j - x_{j-1}) + x_{j-1}, \lambda_i \cdot (z_j - z_{j-1}) + z_{j-1}) \\ (i = j, i = 5, 6, 7)$$

各体節の移動速度 v_i は各体節の重心位置 PC_i を時間微分することで求められる。ここから、各体節の運動エネルギー T_i は次式で表される。

$$T_i = \frac{1}{2} \cdot m_i \cdot v_i^2 + \frac{1}{2} \cdot J_i \cdot \left(\frac{d\theta_i}{dt} \right)^2$$

上式において右辺第1項は並進運動のエネルギーを表し、右辺第2項は回転運動のエネルギーを表す。ここで先に定めた仮定より

$$T_1 = 0$$

である。ここから、系の総運動エネルギー T_{Total} は体節の数をふまえて次式で表される。

$$T_{Total} = 2 \cdot \sum_{i=2}^3 T_i + T_4 + 2 \cdot \sum_{i=5}^7 T_i$$

上式において右辺第 1 項は下肢の運動エネルギーを表し、第 3 項は上肢の運動エネルギーを表す。

次に、各体節のポテンシャルエネルギー U_i は次式により表される。

$$U_i = m_i \cdot g \cdot z_i$$

ここから、系の総ポテンシャルエネルギー U_{Total} は体節の数を考慮して次式で表される。

$$U_{Total} = 2 \cdot \sum_{i=1}^3 U_i + U_4 + 2 \cdot \sum_{i=5}^7 U_i$$

上式において右辺第 1 項は下肢のポテンシャルエネルギーを表し、第 3 項は上肢のポテンシャルエネルギーを表す。

系の総運動エネルギーと総ポテンシャルエネルギーが明らかになったので、剛体リンクモデルにおけるラグランジアン L は次式で表される。

$$L = T_{Total} - U_{Total}$$

ラグランジュの運動方程式から、系の運動方程式を導出するには、一般化座標を定義し、一般化力を求めなければならない。そこでまず一般化座標は関節角度とし、次式で定義する。

$$\Theta_j = \theta_{i+1} - \theta_i \quad (i = j, j = 1, 2, \dots, 6)$$

次に一般化力を定義する。床から力が作用する点を P_8 とし、肘掛けから力が作用する点を P_9 とする。これらは成分表記すると、

$$P_8 = (x_8, z_8), P_9 = (x_9, z_9)$$

である。また、床から身体に作用する力を F_1 、肘掛けから身体に作用する力を F_2 とする。これらは成分表記すると

$$F_1 = (f_{x1}, f_{z1}), F_2 = (f_{x2}, f_{z2})$$

である。これらから、各関節に作用する一般化力 τ_j は次式で求まる。

$$\begin{aligned} \tau_j = & M_j - (x_8 - x_j) \cdot f_{z1} + (x_8 - x_j) \cdot f_{x1} \\ & + (x_9 - x_j) \cdot f_{z2} + (x_9 - x_j) \cdot f_{x2} \end{aligned}$$

これらより、各体節の運動方程式は次式で求められる。

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\Theta}_j} \right) - \frac{\partial L}{\partial \Theta_j} = \tau_j \quad (j = 1, 2, \dots, 6)$$

ここで求められた運動方程式を右辺の一般化力 τ_i に含まれる関節モーメント M_j について解けば、各関節の関節モーメントを求めることができる。

実際に上式を数学的に厳密に解くと項数が何十も存在する方程式が導かれる。その大半は関節角度の 1 階の時間微分および 2 階の時間微分が含まれる動的項であり、それらはそれぞれ関節角度の角速度および角加速度にあたる。工学的な立場では式中含まれる項の数が多く全体の見通しが悪い方程式は扱いづらいため、適当な仮定を導入して項数を減らすことが多い。本研究においても運動方程式の項数を減らすため次の仮定を導入する。

- ・起立動作における関節角度変化の角速度、角加速度は小さく、関節モーメントにおける動的項は静的項と比較して全体に与える影響は微小であると扱える。

これにより、運動方程式から動的項を除くと、関節モーメントを求める式は外力項と重力項により求められる釣り合いの式に変換される。関節角度 Θ_j を体節角度 θ_i に変換して具体的に示すと、足首関節モーメント M_1 は

$$\begin{aligned} M_1 = & (2\lambda_2 m_2 - 2m_2 - 2m_3 - m_4 - 2m_5 - 2m_6 - 2m_7) \\ & \cdot gl_2 \sin \theta_2 \\ & + (2\lambda_3 m_3 - 2m_3 - m_4 - 2m_5 - 2m_6 - 2m_7) \\ & \cdot gl_3 \sin \theta_3 \\ & + (\lambda_4 m_4 - m_4 - 2m_5 - 2m_6 - 2m_7) gl_4 \sin \theta_4 \\ & + (2\lambda_5 m_5 + 2m_6 + 2m_7) gl_5 \sin \theta_5 \\ & + (2\lambda_6 m_6 + 2m_7) gl_6 \sin \theta_6 \\ & + 2\lambda_7 m_7 gl_7 \sin \theta_7 \\ & + x_8 f_{z1} - z_8 f_{x1} - x_9 f_{z2} - z_9 f_{x2} \end{aligned}$$

膝関節モーメント M_2 は

$$\begin{aligned} M_2 = & (f_{x1} + f_{x2})l_2 \cos \theta_2 + (f_{z2} - f_{z1})l_2 \sin \theta_2 \\ & + (2\lambda_3 m_3 - 2m_3 - m_4 - 2m_5 - 2m_6 - 2m_7) \\ & \cdot gl_3 \sin \theta_3 \\ & + (\lambda_4 m_4 - m_4 - 2m_5 - 2m_6 - 2m_7) gl_4 \sin \theta_4 \\ & + (2\lambda_5 m_5 + 2m_6 + 2m_7) gl_5 \sin \theta_5 \\ & + (2\lambda_6 m_6 + 2m_7) gl_6 \sin \theta_6 \\ & + 2\lambda_7 m_7 gl_7 \sin \theta_7 \\ & + x_8 f_{z1} - z_8 f_{x1} - x_9 f_{z2} - z_9 f_{x2} \end{aligned}$$

股関節モーメント M_3 は

$$\begin{aligned} M_3 = & (f_{x1} + f_{x2})l_2 \cos \theta_2 + (f_{z2} - f_{z1})l_2 \sin \theta_2 \\ & + (f_{x1} + f_{x2})l_3 \cos \theta_3 + (f_{z2} - f_{z1})l_3 \sin \theta_3 \\ & + (\lambda_4 m_4 - m_4 - 2m_5 - 2m_6 - 2m_7) gl_4 \sin \theta_4 \\ & + (2\lambda_5 m_5 + 2m_6 + 2m_7) gl_5 \sin \theta_5 \\ & + (2\lambda_6 m_6 + 2m_7) gl_6 \sin \theta_6 \\ & + 2\lambda_7 m_7 gl_7 \sin \theta_7 \\ & + x_8 f_{z1} - z_8 f_{x1} - x_9 f_{z2} - z_9 f_{x2} \end{aligned}$$

肩関節モーメント M_4 は

$$\begin{aligned} M_4 = & (f_{x1} + f_{x2})l_2 \cos \theta_2 + f_{z2}l_2 \sin \theta_2 \\ & + (f_{x1} + f_{x2})l_3 \cos \theta_3 + f_{z2}l_3 \sin \theta_3 \\ & + (f_{x1} + f_{x2})l_4 \cos \theta_4 + f_{z2}l_4 \sin \theta_4 \\ & + (2\lambda_5 m_5 + 2m_6 + 2m_7) gl_5 \sin \theta_5 \\ & + (2\lambda_6 m_6 + 2m_7) gl_6 \sin \theta_6 \\ & + 2\lambda_7 m_7 gl_7 \sin \theta_7 \\ & - z_8 f_{x1} - x_9 f_{z2} - z_9 f_{x2} \end{aligned}$$

肘関節モーメント M_5 は

$$\begin{aligned} M_5 = & (f_{x1} + f_{x2})l_2 \cos \theta_2 + (f_{z2} - f_{z1})l_2 \sin \theta_2 \\ & + (f_{x1} + f_{x2})l_3 \cos \theta_3 + (f_{z2} - f_{z1})l_3 \sin \theta_3 \\ & + (f_{x1} + f_{x2})l_4 \cos \theta_4 + (f_{z2} - f_{z1})l_4 \sin \theta_4 \\ & - (f_{x1} + f_{x2})l_5 \cos \theta_5 - (f_{z2} - f_{z1})l_5 \sin \theta_5 \\ & + (2\lambda_6 m_6 + 2m_7) gl_6 \sin \theta_6 \\ & + 2\lambda_7 m_7 gl_7 \sin \theta_7 \\ & + x_8 f_{z1} - z_8 f_{x1} - x_9 f_{z2} - z_9 f_{x2} \end{aligned}$$

手首関節モーメント M_6 は

$$\begin{aligned} M_6 = & (f_{x1} + f_{x2})l_2 \cos \theta_2 + (f_{z2} - f_{z1})l_2 \sin \theta_2 \\ & + (f_{x1} + f_{x2})l_3 \cos \theta_3 + (f_{z2} - f_{z1})l_3 \sin \theta_3 \\ & + (f_{x1} + f_{x2})l_4 \cos \theta_4 + (f_{z2} - f_{z1})l_4 \sin \theta_4 \\ & - (f_{x1} + f_{x2})l_5 \cos \theta_5 - (f_{z2} - f_{z1})l_5 \sin \theta_5 \\ & - f_{x1}l_6 \cos \theta_6 - (f_{z2} - f_{z1})l_6 \sin \theta_6 \\ & - 2\lambda_7 m_7 gl_7 \sin \theta_7 \\ & + x_8 f_{z1} - z_8 f_{x1} - x_9 f_{z2} - z_9 f_{x2} \end{aligned}$$

となる。

式をみると、どの関節モーメントにおいても体節質量に起因する重力を含む項は、体節の関節角度を変数とする $\sin$ 関数が乗じられていることから、体節角度が鉛直に近い状態、つまり起立状態に近いほど関節モーメントが小さくなることがわかる。また、関節位置が下肢から上肢にむかうにつれて式中に外力を含む項数が増加し、逆に重力を含む項数が減少している。ここから負担を自覚しやすい下肢のトルクを減少させるには立位状態に近い姿勢をとることが効果的であることがわかる。姿勢を一定に保ったまま関節モーメントを減少させたいときは、外力が関与する項の値を大きくする必要があるが、意識的に踏み込むなどをして肘掛けや床面から反作用として受ける力を大きくすることはかえって身体の負担を増加させることになるため困難である。このときは力の作用点位置を変化させればよいことも式から理解できる。

3. 評価実験用装置

肘掛けを利用した起立動作における関節モーメントは、動作中に身体に作用する力 F_1 、 F_2 が得られていないと求められない。

そこで、図2に示す評価実験装置を製作した。この装置は、図3のように被験者が座った状態から立ち上がるまでに身体が外部に対して発揮する力を測定できる。

装置には、座面にみたてたプレート（以後、座面部）に荷重センサが取り付けられており、プレートに作用する鉛直方向および水平前後方向の力を測定できる。また、鉛直方向の力はプレートの4隅に取り付けた荷重センサで測定するため、座面に作用する力の作用点位置を求めることができる。椅子の肘掛けを模擬した可動部（以後、肘掛部）にも、荷重センサ（（株）共和電業製 LFM-A-1kN）が取り付けられており（図4）、起立動作時に肘掛に作用する力を測定できる。床面には、床反力計

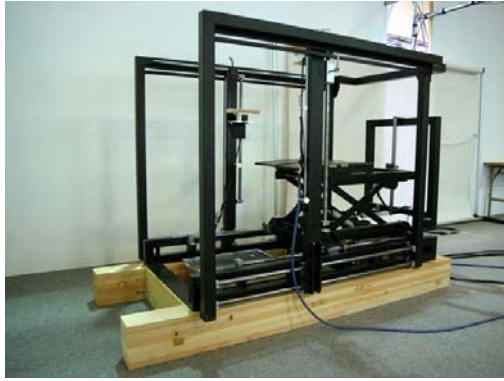


図2 重心移動評価装置



図3 重心移動評価装置（利用例）



図4 肘掛け部と荷重センサ

が設置されており、起立動作時の床面を踏み込む力を測定できる。これらのセンサはセンサインタフェースを介してPCと接続している。なお、肘掛け部は座面部に対する相対位置を調整できる。

また、身体関節角度を測定するため、回転型ポテンシオメータを利用したゴニオメータを製作した。ゴニオメータの外観を図5に示す。関節角度の変化を、関節の回転中心にポテンシオメータの回転中心を合わせて、ポテンシオメータの本体と軸にそれぞれ固定されたアームを被験者の体節に固定することで、身体関節角度はポテンシオメータの抵抗変化として測定できる。



図5 ゴニオメータ

（左上：肩関節、右上：肘関節、左中央：股関節、右中央：膝関節、下：足首関節）

4. 評価実験

肘掛けを使った起立動作の評価指標に関節モーメントが有効であるかを検証するため、起立動作解析実験を行った。

実験では、一人の被験者に固定した座面位置から肘掛けを使った起立動作を繰り返し行ってもらった。この際いくつか異なる肘掛け位置を用意し、実験水準として与えた。

座面位置は現在市場にて販売されている起立補助椅子（（株）キタニ製・MERODY）を参考にし、座面高560mm、座面傾斜角度5°に設定した。また、肘掛け位置は小原ら²⁾が提案する椅子プロトタイプを参考に、座面前縁から140mm後方で、座面上面から220mmの高さを基準位置と設定した。この基準位置から前方向に10cm刻みで5水準、上方向に同じく10cm刻みで4水準を設定し、これらを実験で与える水準とした。実験で与えた肘掛け部の位置水準を図6に示す。ここで、基準位置から上方向に20cmの位置、30cmの位置および10cm前方で30cm上方の位置については、肘掛けとして利用することが困難であったため、水準から除外した。

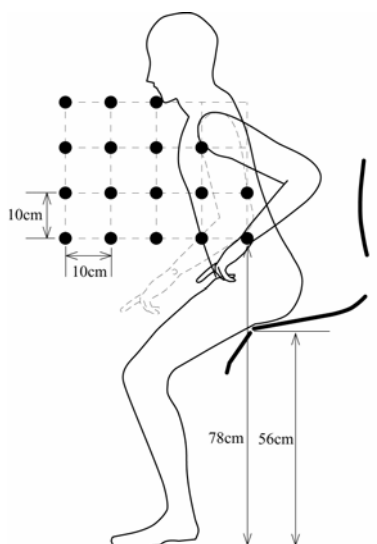


図6 肘掛け位置の実験水準

5. 結果と考察

起立動作実験の計測結果を、肘掛けが基準位置にある場合を例に図7、図8および図9に示す。また、これらの計測結果から求めた関節モーメントの時系列変化を図10に示す。ここで、手首の関節モーメントは、実際に肘掛けに手をついているあいだは評価実験用装置の肘掛け部に取り付けた荷重センサから直接測定できるため、測定データを示している。図10から、起立補助椅子からの起立動作では、足首、膝および肩に大きなモーメントが作用していることがわかる。普通の椅子からの起立動作における関節モーメントでは、股関節モーメントが最も大きくなる³⁾ことから、起立補助椅子と通常の椅子における起立動作の差異は、どの関節に作用するモーメントが大きいかを指標となるものと考えられる。

関節モーメントは図10のように時系列の数値として与えられる。これを起立動作の指標とするにはひとつの数値に置き換える必要がある。そこで座位姿勢から立位姿勢に移行する起立動作の中で、動作にともなう負荷が身体に作用する区間は臀部が座面から離床したときから、体節角度および床反力の変化がなくなるまでと想定し、その区間における関節モーメントの積分値を指標とすることにした。

図11および図12に肘掛け位置を変化させたときの関節モーメントの変化を示す。ここで、起立動作における負担は下肢に自覚されることから、足首および膝関節モーメントを示している。また、各条件で測定実験は5回行っている。肘掛け位置を要因とする一元配置分散分析を行ったところ、

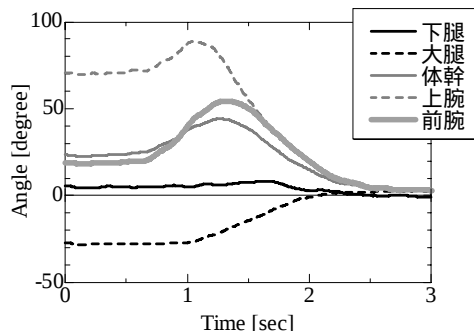


図7 起立補助椅子からの起立動作における体節角度の時系列変化

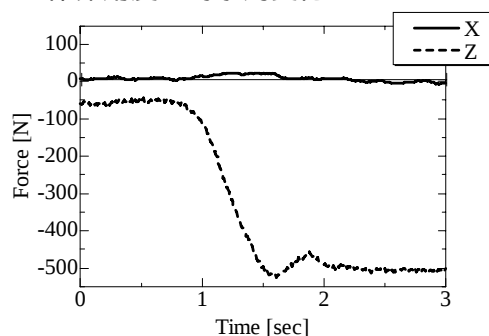


図8 起立補助椅子からの起立動作における床反力の時系列変化

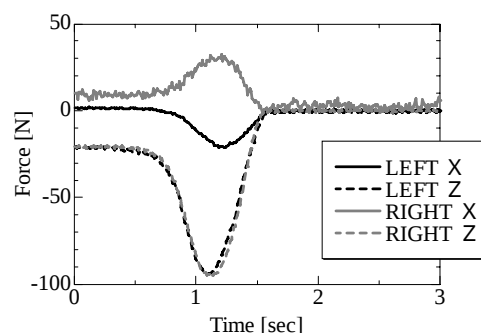


図9 起立補助椅子からの起立動作で肘掛けに作用する力の時系列変化

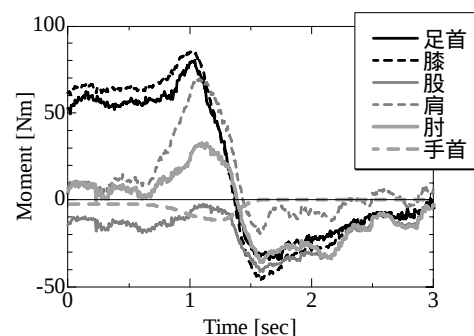


図10 起立補助椅子からの起立動作における関節モーメントの時系列変化

主効果が有意であった（膝関節モーメント： $F = 36.002$ $p < 0.05$ 、足首関節モーメント： $F = 28.249$ $p < 0.05$ ）。この結果は肘掛け位置が関節モーメントに影響を与えたことを示している。実験では座面位置を固定して肘掛けの位置だけを変化させたにもかかわらず下肢の関節モーメントに変化がみられた理由は、肘掛け位置に応じて人が起立動作を変化させているためと考えられる。

今後、肘掛け位置に応じた起立動作の変化の関係が解明されれば、様々な起立動作の様態のなかから、負担の少ない動作を見だし、その動作が取れる位置に肘掛けを配置することができると考えられる。

6. まとめ

肘掛けを使った起立動作の評価指標に関節モーメントが有効であるかを検証するため、起立動作解析実験を行った。その結果、肘掛けの位置変化により関節モーメントも変化するという結果を得た。これにより関節モーメントは起立動作における肘掛けの有効性を検証する指標になると考えられる。

今後は、関節モーメントの観察をもとに、起立動作における肘掛けの有効な位置について検討していきたい。また肘掛けに可動機構を付加し、起立する際に肘掛けを利用しやすい位置に移動させることができる起立補助椅子を開発する予定である。

謝辞

本研究は、文部科学省知的クラスター創成事業「岐阜・大垣地区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。

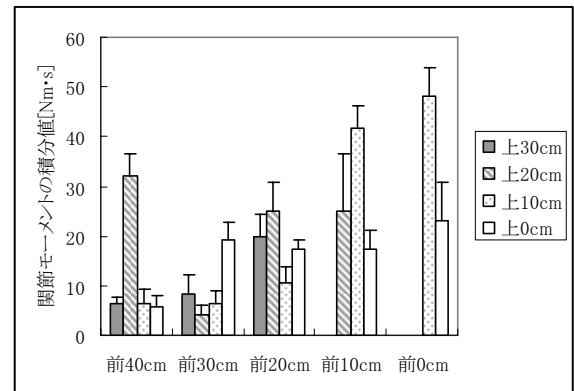


図11 肘掛け位置と膝関節モーメントの関係

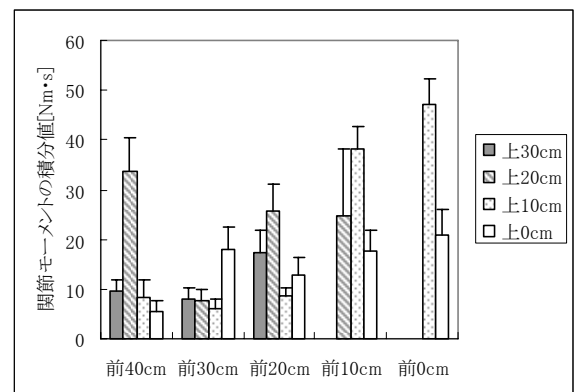


図12 肘掛け位置と足首関節モーメントの関係

参考文献

- 1) 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．
- 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，1969．
- 3) 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．

飛騨高山の家具製造業における職業教育に関するアンケート調査

江原 学^{*1}、藤井 義久^{*2}、奥村 正悟^{*2}、高田 秀樹^{*3}

Survey on Vocational Training in Furniture Industry in Hida Takayama

Manabu EHARA^{*1}, Yoshihisa FUJII^{*2}, Shogo OKUMURA^{*2} and Hideki TAKADA^{*3}

飛騨高山地域の家具製造業（5 社）の技能工を対象に、職業教育に関するアンケート調査を実施した（回答数は 364）。アンケートでは、技能工の現在の職種、職業教育の履歴、技能レベルの自己評価や技能向上に対する意識などを調査した。就職前に職業教育を受けた人の割合は 3 割程度で、製造現場で必要となる技能は主に OJT で習得する傾向が見られた。また技能工は、自身の技能レベルが求められるレベルに達しており、かつ向上しつつあると感じている傾向がみられた。就職前の職業教育訓練には、基礎的な技能の修得に留まらず、自分の技能レベルに自信をもつことや技能とその向上の重要性の認識を高める効果が認められた。しかし、これらの訓練は現場で必要とされる技能の全てを授けるものではなく、実際には現場での職業教育訓練の重要性が高いことも示唆された。

1. 緒言

わが国の木材加工業をとりまく環境は昨今急速に変化しつつあり、このことは木材加工に関する教育や訓練、技能の伝承においても現れていると考えられる。このような観点から現在の職業教育訓練の実態を知り、問題点を抽出することは重要と考えられる。

本報では、飛騨高山地域の家具製造業を対象*に実施した木材加工にかかわる職業教育訓練の実態をアンケート調査によって把握することを試みた結果を報告する。

2. 調査方法

調査では、平成14年1月16日に飛騨高山地域の家具メーカー5社の技能工に対して記述回答形式のアンケートを行い、364名から回答を得た。同様のアンケートを職場での職業教育訓練に携わる班長やリーダー、さらに経営者に対しても行い、それぞれ65名、5名から回答を得たが本報では、技能工からの回答の分析結果を報告する。アンケートに際して

は、事前の聞き取り調査や資料分析の結果を踏まえ、日本の主要な家具生産地の一つである飛騨高山地方で働く技能工の平均像を捉えることや、技能工が就職前に受けた職業教育訓練がその技能に与える影響を明らかにすることを目的として質問を設定した。

3. 結果と考察

3.1 技能工の基本的な属性

アンケートに回答した技能工の男女比率は、男性が64%、女性が29%であった（無回答7%）。また年齢層のピークは50歳以上にあり、技能工の高齢化が読み取れる（図1）。これらの技能工が担当している工程は、成型・面取りや木地研磨など木材の切削や研削に関わる人が最も多く、ついで組み立てや塗装関連の作業となっている（図2）。家具製造技術に関する資格には約30種類ほどあるが、これらのうち取得数が多かったのは、1・2級家具手加工および機械加工、さらに 塗装関連の資格であった（図3）。無回答の大多数は、資格なしと考えられる。

3.2 技能工の職業教育訓練の履歴

初めて就職する前に木材加工に関する職業教育訓練を受けた人は少なく、全体の3割に留まった

*1 京都大学大学院農学研究科、(株)モリタ製作所

*2 京都大学大学院農学研究科

*3 岐阜県生活技術研究所長

(図4)。また教育を受けた人の多くは、工業高校や公共の職業能力開発施設で訓練を受けていることがわかる。仕事に就いてからの職業教育訓練については、実際に作業しながらの訓練であるOJTを挙げた人がもっとも多く、続いてQCサークルなど職場仲間の勉強会、社内研修、と現場に近いところで行われるものが多くなっている(図5)。これに加えて、これまでに技能向上に役立ったものを1位3ポイント、2位2ポイント、3位1ポイントの得点制で評価してもらおうと、職場の人に教えてもらったことが最も高得点となった(図6)。先ほどの結果

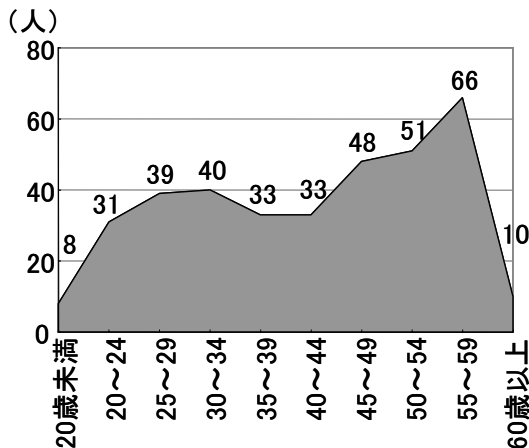


図1 年齢構成 (無回答5人)

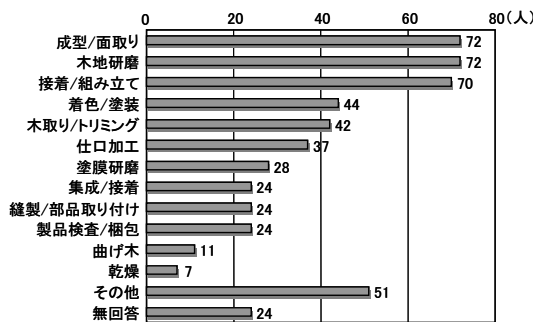


図2 担当している工程

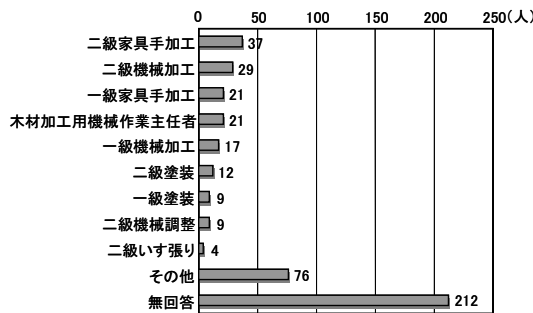


図3 所有する資格

とあわせると、現場を中心に行われる職業教育訓練が量的にも質的にも重要な意味を持つということがわかる。

3.3 技能レベルに対する自己評価

現在の技能レベルの自己評価について調べた結果を図7以降に示す。これらの結果は、就職前の職業教育訓練の経験者と非経験者に分けて結果を示し、これら訓練の影響を検討する。「担当する機械を使いこなせるか」という問いに対しては、全体の7割強の人が「十分使える」、「ほぼ使える」と答えている。そして、就職前に職業教育訓練を受けた人ほど「より機械を使いこなせている」と感じているようである(図7)。続いて、「求められる技能水準に達しているか」という質問では、全体として水準に達しているという人とそうでない人の割合が同

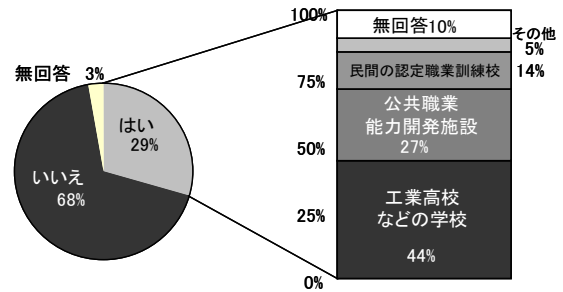


図4 就職前の職業教育訓練

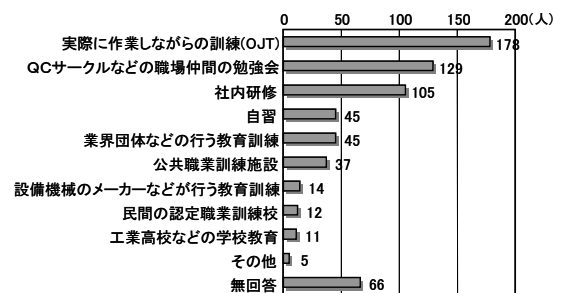


図5 就職後に受けた職業教育訓練

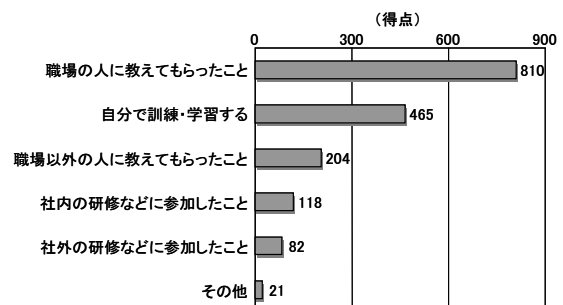


図6 これまで技能向上に役立ったもの (無回答47人)

じぐらいになっていて、ここでも、就職前に職業教育訓練を受けた人のほうが自分の技能水準をより高く評価しているようである（図8）。これらの結果から、就職前の教育が技能水準の向上に寄与していることが伺える。

現場で発生するミスの種類について尋ねたところ、「仕上げ状態の不良」が最も多く、加工精度や作業効率に関するミスよりも上回っている（図9）。しかし「仕上げ状態の不良」以外のミスは互いに関係しあっており、かついわゆる単純ミスに属するものであるが、仕上げ状態に関するミスの種類や回数は木材加工に求められる独特の技能の種類やレベルが関係している可能性がある。さらにミスの頻度を聞いたところ、週一回以下と答える人が半数近くを占め、就職前の職業教育訓練の有無の影響は殆ど見られなかった（図10）。以上の結果から、就職前の訓練は技能の向上にとって一定の役割を果たしているといえる。しかし、ミスの発生頻度についてみた時に経験の有無の差がなかったということは、就職前のものだけでは十分でなく、就職後の職業教育訓練が重要であるということを示していると考えられる。

3.4 技能向上に対する意識

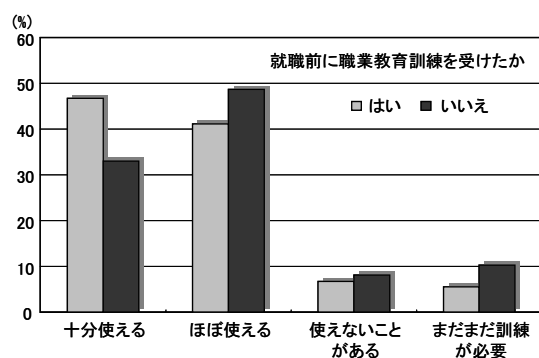


図7 担当する機械を使いこなせるか
(無回答33人)

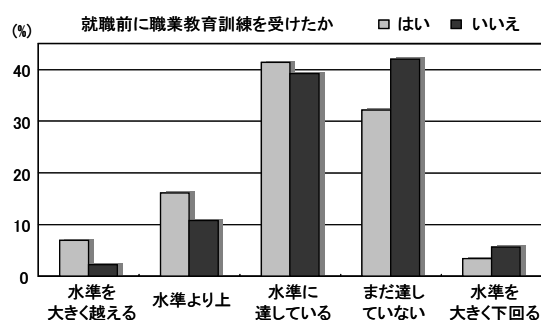


図8 求められる技能水準に達しているか
(無回答 45 人)

技能向上に対する意識に関して調べた結果を図11に示す。まず「自分の担当する仕事に個人の技能は必要か」と尋ねたところ、全体としては「とても必要」、「どちらかという必要」が圧倒的多数であり、就職前に職業教育訓練を受けた人の方が技能の必要性をより強く感じているようである（図11）。技能向上は重要であるかという質問に対しては全体の8割と大多数の人が「とても重要」、「重要」と答えている。ここでも就職前に職業教育訓練を受けた人の方がより技能向上の重要性を感じているようだ（図12）。これらの結果は就職前の職業教育訓練が、技能の重要性やその向上に対する意識を高める方向に作用していることを物語っている。しかしながら、「今現在自分自身の技能は向上しつ

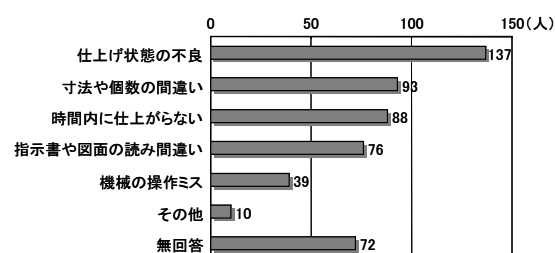


図9 よくするミス

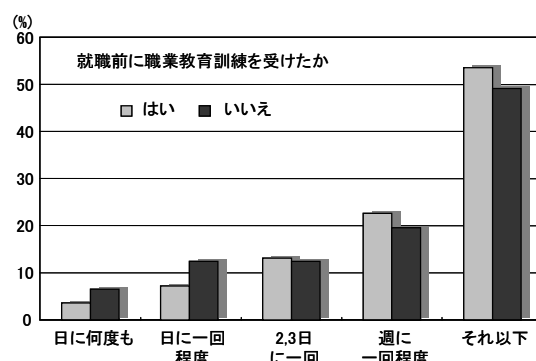


図10 ミスの頻度 (無回答55人)

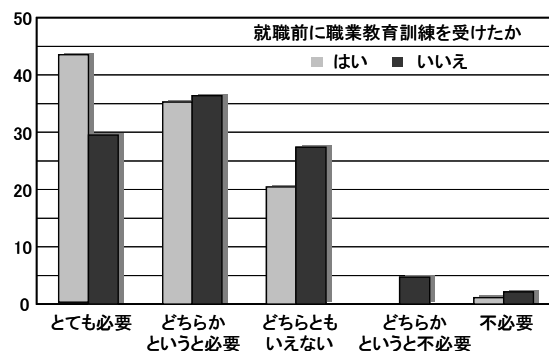


図11 担当する仕事に技能は必要か (無回答30人)

つあるか」と尋ねたところ、大多数が「向上しつつある」と答えてはいるものの、就職前に受けた職業教育訓練の有無による差は認められなかった（図13）。このことは就職後の訓練が技能向上にとって非常に重要であり、それに対して就職前の訓練の意義はそれほど大きくないということを示唆している。「今後技能向上に取り組みたいと思うか」という問いには、全体の大多数が「すでに取り組んでいる」、「とても思う」、「思う」と答えている。ここでも、就職前に職業教育訓練を受けている人のほうが技能向上に対して積極的であるという傾向が出ている（図14）。また技能向上に取り組むたいと答えた人に、技能向上の際に障害となることを聞いたところ、「特に障害はない」が最も多く、ついで「忙しくて余裕がない」、「情報が足りない」となった（図15）。費用面ややる気の問題を障害として挙げる人は少なかった。

4. まとめ

飛騨高山地域で働く技能工の平均像を各設問の最頻値から見ると以下ようになる。

- 1) 就職前は木材加工に関する職業教育訓練を受けておらず、就職後は OJT で技能を磨く。
- 2) 担当する機械はほぼ使え、必要な技能水準にも達しており、仕上げ状態不良のミスは週に一回以下の割合でおかす。
- 3) 担当する仕事にはどちらかといえば技能が必要であり、技能向上は重要と考えていて、自分の技能が向上しつつあるのを感じている。
- 4) 今後は技能向上したいと思っているが、それについて特に障害はないと考えている。

今回の調査結果を、就職前の職業教育訓練の経験者と非経験者とに分けて分析した結果、就職前の職業教育訓練は、基礎的な技能の修得に留まらず、自分の技能レベルに自信をもつことや技能とその向上の重要性の認識を高める効果が認められた。しかし、これらの訓練は現場で必要とされる技能の全てを授けるものではなく、実際には現場での職業教育訓練の重要性が高いことも示唆された。また若年層ほど技能向上に対する意識が強いということについては今回はっきりとした傾向が見出せなかったが、技能工の高齢化、職業教育訓練の中心が OJT であることに付いては確認できた。この2点は他の多くの製造業でも見られる傾向である。

謝辞

本研究を推進するにあたり飛騨高山地域の家具製造業の各位には大きなご理解とご協力を得ました。ここに感謝申し上げます。

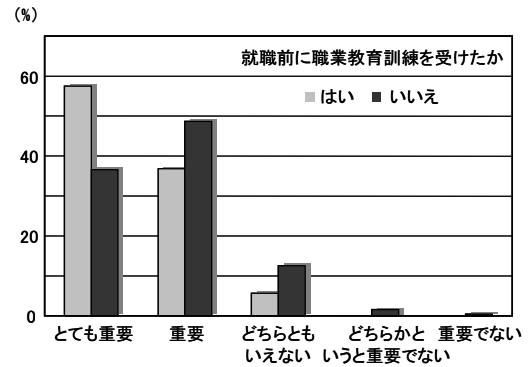


図12 技能向上は重要か（無回答30人）

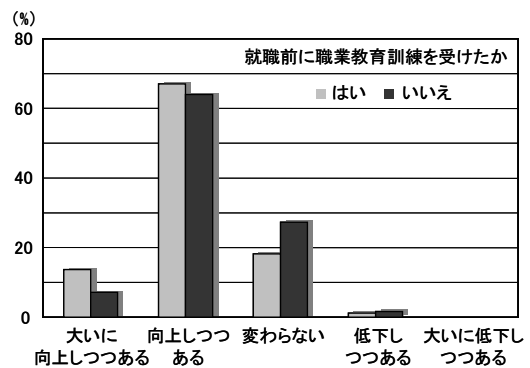


図13 技能は向上しつつあるか（無回答37人）

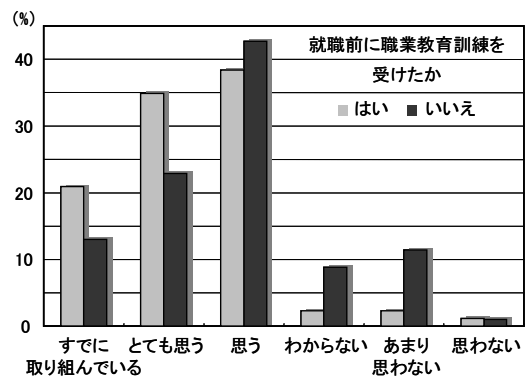


図14 今後、技能向上に取り組みたいとおもるか（無回答30人）

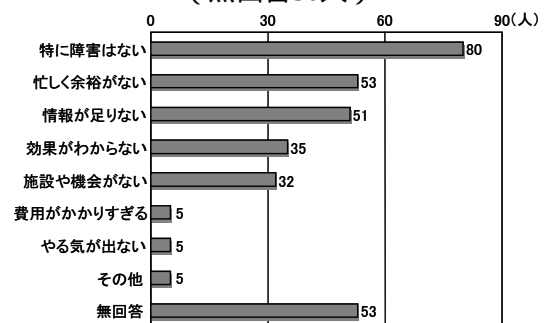


図15 技能向上に際しての障害