

# 家具販売支援システムの研究開発（第1報）

## 情報端末を用いた製品情報提示とユーザーニーズ調査

成瀬哲哉、石郷祐介、窪田直樹

### Research for furniture business support systems (I) iOS application development for user's needs investigation

Tetsuya NARUSE, Yusuke ISHIGO, Naoki KUBOTA

サービスの現場となる家具ショールームで、ユーザーに製品情報など有益な情報を提供し客観的なユーザーニーズを取得することが可能な製品情報提示アプリケーション開発を行い、ニーズの取得・分析を行った。

実証実験の分析結果から木製椅子に関するニーズ・興味は性別・年齢で分類可能であり、各ターゲットに対して製品の提案することが効果的であると類推された。

また開発したアプリケーションは、ショールーム等で情報を提示し、かつニーズを取得することが十分可能であることが実証されたと考えられる。

#### 1. 研究の背景

飛騨・高山の家具は品質の高さから国内シェアトップを維持しているが、需要減や低価格製品の輸入増などにより出荷額は最盛期の3割程度と落ち込んでおり販売現場では「製品をいかに売るか」という課題に直面している。しかし、販売ノウハウは販売担当者の技量に因ることが大きく、メーカーは効率的なニーズ把握や効果的な製品提案を行う手法を模索している。

この課題を克服するために、ユーザーと製品の接点となる販売現場を工学的に分析する必要があるため、本研究ではサービス工学を導入する。

サービス工学は、①～④に示す「最適設計ループ」をサービスの現場で繰り返すことでユーザーのニーズや行動に最適化する学問分野である<sup>1)</sup>。

- ①サービスの現場の観測
- ②得られた客観的データの分析
- ③サービスモデルの設計
- ④サービスの現場への再適用

本報告では、効果的な製品提案を行う家具販売支援システム構築のため、工学的にユーザーニーズを取得する情報端末・アプリケーションの開発と、サービスの現場となる家具メーカーショールームで開発した情報端末・アプリケーションを用いたニーズ調査と分析結果を報告する。

#### 2. 製品情報提示アプリケーションの開発

##### 2.1 開発コンセプト

サービスの現場となる家具ショールームにおいて、ユーザーニーズを取得する際には、「ニーズを取得することで、ショールームでのユーザー行動を妨げない」「ニーズの取得はサービスの提供者にとってメリットであるが、ユーザーにもメリットを提供する」といったことを考慮する必要がある。過去の研究<sup>2,3)</sup>において、図1に示すようにショールームの製品にRFIDタグを取り付け、気に入った製品にRFIDリーダーをかざすことで、ユーザーニーズの調査と分析を行った。この手法は簡易ではあるがショールームでの製品評価に適しており、ニーズ調査に有用であった。

しかし、単機能であるためユーザーに製品情報などを提供できないこと、カスタム品であるためコストが高く端末を増やした調査が容易でないといった課題があった。



図1 RFIDリーダーと過去の実験風景

そこでこれらの課題を克服し、ショールームでユーザーの行動を妨げずにメリットを提供することができる製品情報提示アプリケーションの研究開発を行った。製品情報提示アプリケーションをインストールする情報端末は高機能化が進み美術館等でのナビゲーションに利用される iOS デバイス (iPad、iPhone) を用いた<sup>4)</sup>。

これら iOS デバイスはプログラムが可能であるため、以下の機能を開発し組み込むことで、ショールームでユーザーの行動を妨げずにユーザーにメリットを提供する。

- ・液晶画面で製品情報をユーザーに提供できる。
- ・軽量であり、ユーザーの行動を妨げない。
- ・アンケート機能を組み込むことが可能である。
- ・市販品のため端末台数を増やすことが容易。

## 2.2 製品情報提示アプリケーションの機能

製品情報提示アプリケーション (UsaReco: User Service for Advanced RECOmmendation system) はショールームで使用するため、以下の①～③の機能を実装した。

- ① ユーザーの情報アンケート機能  
 性別：男性/女性  
 年齢：30 歳以下/31～45 歳/  
 46～60 歳/61 歳以上  
 居住地域：岐阜県内/東海北陸/東日本/西日本  
 職業：家具製造業/家具販売業/その他
- ② QR コード読み取りによる製品情報提示機能  
 製品写真/メーカー等製品スペック/  
 製品解説/ライフスタイル (利用イメージ)
- ③ 気に入った製品と気に入った理由の登録  
 座り心地/色・素材/デザイン (形状)  
 すべての操作は iOS デバイスの標準機能であるタッチパネル、カメラを用いて行うことができる。また、ショールームで幅広い年齢層のユーザーがアプリケーションの使用が初めてでも戸惑うことなく操作できることを念頭に、ユニバーサルデザインに配慮したユーザーインターフェースデザインを行った<sup>5,6)</sup>。

なお、アプリケーションには独自開発部分とは別に以下の外部ライブラリを使用している。

- Zxing：QR コード読み取りに使用
- FMDB：SQLite データベースの読み書きに使用
- ziparchive：データの zip 圧縮に使用

ユーザーはショールーム内で図 2 に示す手順でアプリケーション操作を行う。

まず、ユーザー情報アンケートに回答したのち、ショールーム内を自由に行動し、気になった製品に取り付けられた QR コードを撮影することで詳

細な製品情報を閲覧する。情報閲覧後には、画面上から QR コード読み取りモードに戻り、再度ショールームで行動することができる。

閲覧した製品が気に入った場合はお気に入りリストへの登録と気に入った理由のアンケートに回答する。お気に入りリストとは任意に呼び出しが可能なため、ログデータとしてユーザーと営業担当者の商談・コミュニケーションツールとして活用される。

以上の操作過程をアプリケーションログ (ユーザー属性ログ、製品への興味ログ、製品嗜好のログ、それぞれの行動の日時) としてアプリケーション内に蓄積され、客観的なユーザー行動データとして分析に用いる。



図 2 アプリケーションの操作手順

### 3. 実証実験

#### 3.1 実験方法

開発したアプリケーションをインストールした iOS デバイス (iPod touch/iPhone) 計 8 台を用いて、アプリケーションの製品提案及びニーズ調査機能に関する実証実験をミュージアム飛騨常設展示場「椅子の世界」(岐阜県高山市千島町 900-1) にて 5 日間(平成 23 年 9 月 7 日～9 月 11 日)行った。

調査会場のミュージアム飛騨は飛騨・高山の名作椅子等を展示する博物館であり、常設展示場をショールームに見立て、常設展示場内の木製椅子 65 脚の製品写真/製品スペック/製品解説/ライフスタイルをデータ化し、アプリケーションに組み込み使用した。

調査参加者は調査会場で iOS デバイス (iPod touch/iPhone) を持ち、会場内を自由に行動し、会場内に気になった製品があった場合、製品キャプションに表示されている QR コードを撮影することで製品情報を閲覧し、気に入った製品と気に入った理由(複数回答可)を登録した。

#### 3.2 実験結果と考察

実験期間中のミュージアム飛騨の来場者は 4,214 人、うち 241 人が実証実験に参加した。図 3 に実証実験風景を、表 1 に参加したユーザーの性別と年齢による分類を示す。文末附録に公開実験で使用した製品写真と製品番号の一覧を示す。



図 3 実験風景

表 1 性別と年齢による分類

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

表 1 より、人数の少ない 61 歳以上の男女、および無回答のユーザーを除き、男性(～30 歳)、男性(31～45 歳)、男性(45 歳～60 歳)、女性(～30 歳)、女性(31～45 歳)、女性(45 歳～60 歳)の 6 個のユーザー層に関して解析を行った。

まず、ユーザーは気に入った製品を登録する際に、気に入った理由(座り心地/色・素材/デザイン(形状):複数回答可)を登録することができることから、製品を気に入った理由の占める割合から、各ユーザー層の好み傾向を分析した。図 4 に製品を気に入った理由の占める割合を示す。

図 4 より、男性(31～45 歳)はデザイン(形状)を、女性(45 歳～60 歳)は座り心地を重要視する傾向などが読み取れる。

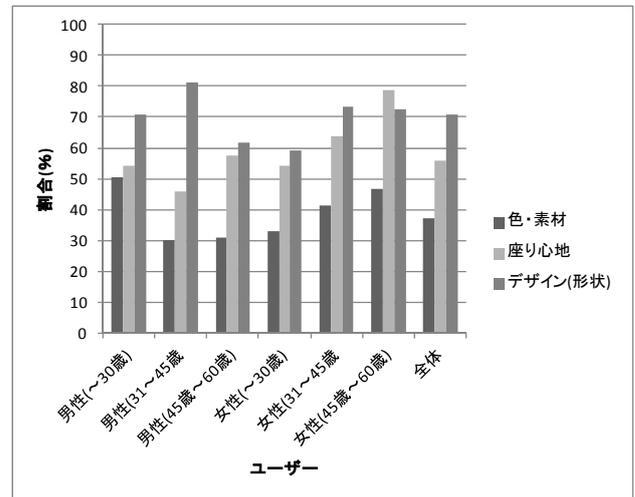


図 4 製品を気に入った理由の占める割合

次に実証実験で得られたデータを基に、ユーザーが気に入った椅子の傾向から分類するため、統計解析ソフトウェア SPSS14.0J(日本アイ・ビー・エム株式会社)を用い、ユーザー全体、ユーザーの性別年齢ごとのクラスター分析を行った<sup>7,8,9)</sup>。

分析の結果、表 2 に示すように、男性(～30 歳)は 7 個のクラスター、男性(31～45 歳)は 4 個のクラスター、男性(45 歳～60 歳)は 6 個のクラスターに製品を分類することができた。また、表 3 に示すように、女性(～30 歳)は 5 個のクラスター、女性(31～45 歳)は 5 個のクラスター、女性(45 歳～60 歳)は 3 個のクラスターに製品を分類することができた。

表 2 男性のクラスター分析結果

ユーザー層	クラスター番号	製品番号
男性 (～30 歳)	1	20, 49, 53, 26, 4, 10
	2	23, 34, 63, 28, 30
	3	5, 33, 32, 29, 55, 65, 59, 7, 9, 19, 52, 46
	4	11, 57
	5	27, 22, 64, 60, 1, 18, 43
	6	16, 36, 25, 51, 41
	7	35, 39, 40, 6, 62, 58, 3, 24, 44
男性 (31～45 歳)	1	49, 33, 32, 35, 11, 34, 40, 2, 2, 47, 41, 10, 24, 46
	2	16, 6, 56, 36, 38, 26, 51, 63, 59, 60, 50, 48, 45, 54, 42, 19, 43, 3
	3	15, 23, 53, 55, 25, 57, 27, 6, 4, 65, 17, 1, 2, 18, 52
	4	20, 5, 21, 31, 37, 62, 8, 7, 9, 61
男性 (45 歳～60 歳)	1	45, 54, 42, 43, 44, 46
	2	13, 11, 22, 28, 50, 4, 10
	3	15, 16, 36, 7, 41, 18
	4	33, 34, 47
	5	49, 39, 56, 57, 27, 62, 59, 3, 0
	6	21, 32, 40, 63, 64, 8, 60, 58, 19, 52

表 3 女性のクラスター分析結果

ユーザー層	クラスター番号	製品番号
女性 (～30 歳)	1	20, 5, 49, 15, 16, 23, 53, 57, 27, 51, 50, 47, 42, 18, 3, 4, 4
	2	11, 34, 56, 63
	3	39, 40, 26, 64, 65, 59, 17, 7, 41, 2
	4	6, 45, 30, 43, 46
	5	33, 32, 35, 55, 62, 8, 54, 19, 52, 24
女性 (31～45 歳)	1	23, 56, 65, 59, 19, 52, 44
	2	5, 33, 34, 39, 40, 37, 8, 46
	3	20, 49, 15, 16, 32, 11, 29, 2, 6, 17, 48
	4	53, 55, 36, 57, 27, 51, 22, 6, 4, 28, 7, 45, 10, 3
	5	31, 35, 62, 47, 18, 24
女性 (45 歳～60 歳)	1	5, 11, 6, 26, 45, 19, 10, 46
	2	14, 33, 34, 40, 62, 64, 59, 6, 0, 28, 50, 48, 41, 2, 43, 3, 4, 4
	3	15, 27, 51, 65, 8, 58, 18

図 5～図 7 に男性の各ユーザー層と各クラスターの評価の傾向を示し、男性の各ユーザー層とクラスターの関係进行考察する。

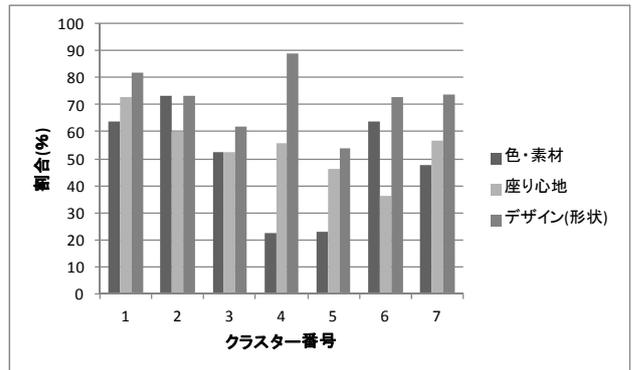


図 5 男性(～30 歳)の各クラスターの評価

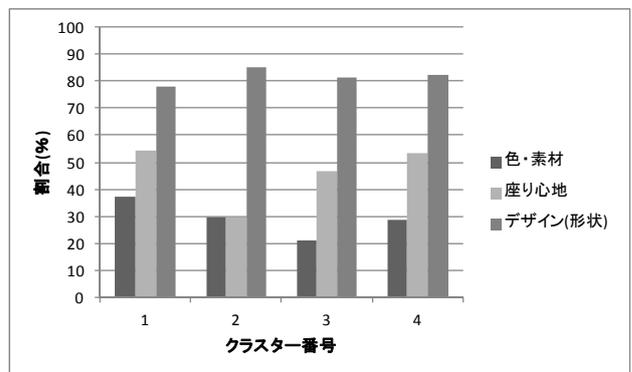


図 6 男性(31～45 歳)の各クラスターの評価

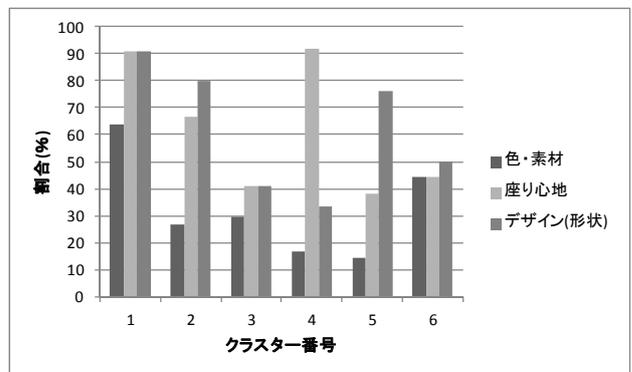


図 7 男性(45 歳～60 歳)の各クラスターの評価

男性(～30 歳) は図 5 に示すように、クラスター 4 の製品に対してはデザイン(形状)を高く評価していること、クラスター 1, 2 に対しては、どの項目も評価が高く、総合的に評価されていることが読み取れる。

男性(31～45 歳)は図 6 に示すように、どのクラスターに対してもデザイン性が高いものを好む傾向にあることが読み取れる。

男性(45 歳～60 歳)は図 7 に示すように、クラスター 4 の製品に関してはデザインの評価はそれほど高くないが座り心地を高く評価している。また、クラスター 5 に関しては座り心地の評価はそれほど

ど高くないがデザインが気に入っていることが読み取れる。

次に、図 8～図 10 に女性の各ユーザー層と各クラスターの評価の傾向を示し、女性の各ユーザー層とクラスターの関係性を考察する。

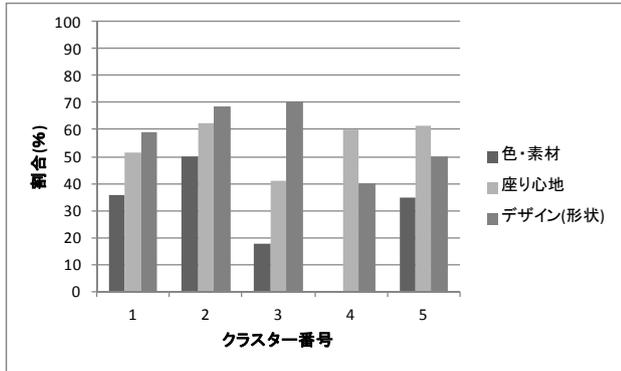


図 8 女性(～30 歳)の各クラスターの評価

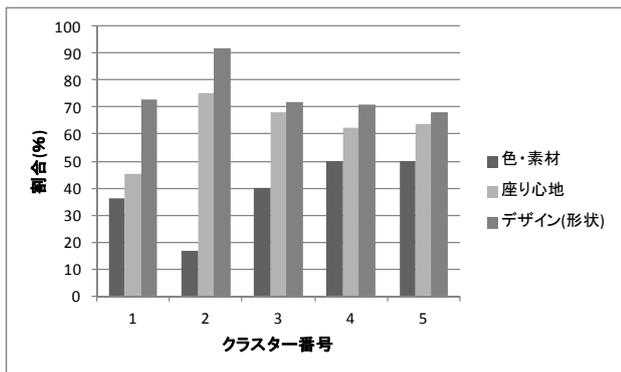


図 9 女性(31～45 歳)の各クラスターの評価

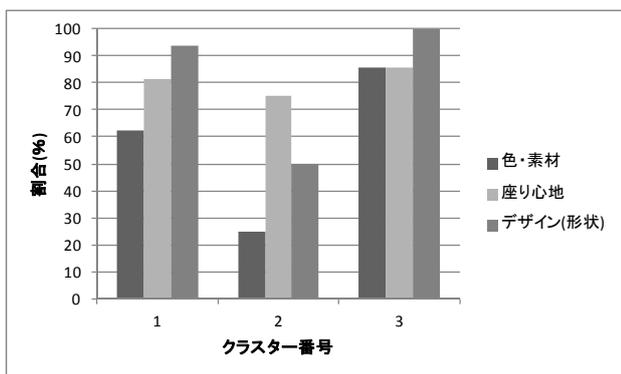


図 10 女性(45 歳～60 歳)の各クラスターの評価

女性(～30 歳)は図 8 に示すように、クラスター3 の製品に関しては、デザインを評価する傾向がみられるのに対し、クラスター4,5 の製品に関しては、座り心地を評価する傾向が読み取れる。

女性(31～45 歳)は図 9 に示すように、全体的にデザインと座り心地を重視する傾向がある。その

中でもクラスター2 の製品はデザイン、座り心地ともに高く評価している。

女性(45 歳～60 歳)は図 10 に示すように、全体的に座り心地を重視する傾向が読み取れ、クラスター1,3 の製品に関してはデザインも評価が高いことが分かる。

### 3.3 実証実験のまとめ

過去の研究<sup>2,3)</sup>においては、ユーザーの実験への積極的な参加は見られず、参加者の影響から性別・年齢による分類は困難であった。

しかし、今回の実証実験では、ユーザーが実証実験に積極的に参加していることから、今回開発を行ったアプリケーションはショールームでユーザーの行動を妨げずに情報・メリットを提供することができ、かつニーズを取得することが十分可能であることが実証されたと考えられる。その結果、性別・年齢ごとの分析が可能となり、各ユーザー層の好み傾向を分析することができた。

### 4. 製品情報提示アプリケーションの機能拡張

実証実験を行った製品情報提示アプリケーション(UsaReco ver. 1)はショールームでの使用を前提としている。しかし、現在、製品を知る・買う現場はショールームだけでなく、インターネットを介した情報収集や web 通販など、自宅といったパーソナルな環境に拡大している。

そこで、製品情報提示アプリケーションにより、ユーザーが求める製品情報を提示するため機能拡張を行った。

アプリケーション機能拡張のコンセプトは、ユーザーが、自宅で情報に触れ、製品に興味を持ち購入行動を促すことにある。そのために「製品発見のプロセス」と「興味関心の変化速度」という二点に注目しインターフェースの設計を行った。

まず、「製品発見のプロセス」として、ユーザーがお気に入りの製品を見つけるまでのプロセスを検討した。

飛騨の家具製品の持つ高級感やデザインなどの「ブランド的価値」を持つ製品は、単なるコストパフォーマンスの比較だけでなく「お気に入りの製品を自分で発見した」という喜びが、興味関心に大きく影響を与えると考えられている<sup>10)</sup>。

また、興味関心が定まっていないユーザーは、少しかきかけで興味関心が変化してしまうので、Amazonなどで使用されている協調フィルタリングという手法では適切な提案が行えないと考えられている<sup>11)</sup>。

そこで、常に更新されるユーザーの興味・関心

への対応のため、製品の表示方法はランダムとし、ユーザーとのインタラクション頻度を高めたインターフェースデザインを採用することで、ランダム性から発生する「発見の喜び」を支援することとした。また、条件付き確率を主理論とするベイズ統計を採用し、製品仕様、ユーザーの興味度などから要素抽出と、その要素を含んだ製品が表示される確率を上げることで、偶然性を利用しながら徐々に気に入った製品を絞り込ませることを設計コンセプトとした。このコンセプトを基に、ユーザーの検索行為を、「発見フェーズ」と「比較フェーズ」に分け、「発見フェーズ」では一度に画面に表示する情報量を減らし検索・発見に集中させ、逆に比較フェーズでは製品情報を一覧して見ることができるようになる。これにより「発見フェーズ」では、常に検索という行為が発生し、ユーザーには新しい発見の機会が、アプリケーションデータには最新のユーザープロファイルが与えられると考えられる。図 11 に機能拡張したアプリケーション構造を示す。

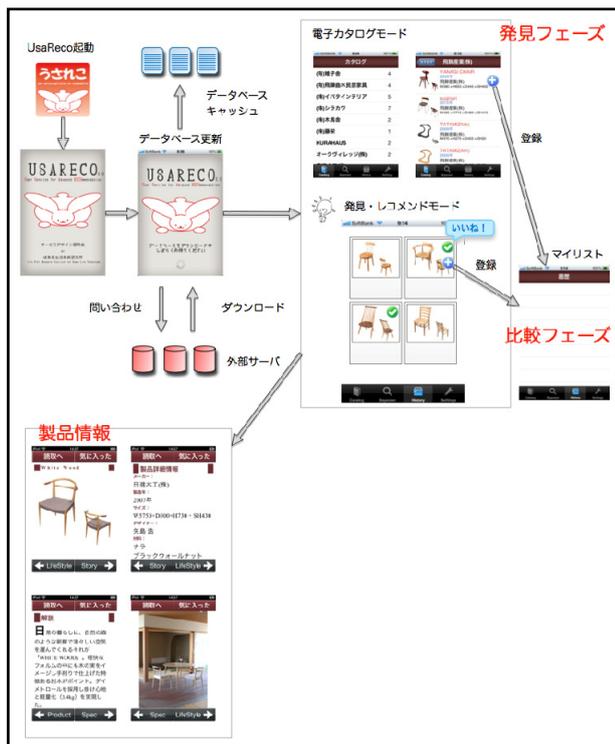


図 11 機能拡張したアプリケーション構造

## 5. まとめ

ショールームでユーザーの行動を妨げずにメリットを提供することができる製品情報提示アプリケーションの研究開発を行った。

今回、開発を行ったアプリケーションを用いた

ニーズ調査実験では、木製椅子に関するニーズ・興味が性別・年齢で分類可能であることが解析結果から得ることができ、また開発したアプリケーションは、ショールーム等で情報を提示し、かつニーズを取得することが十分可能であることが実証されたと考えられる。

今後は現在、開発中のバージョンに得られた分析結果とベイズ統計を組み合わせることでショールームだけでなく、自宅等でもユーザーにメリットのある家具販売支援システムの実現を目指す。

## 謝辞

実証実験に参加いただきましたユーザーの皆様、実証実験の場所を提供にご尽力いただいたミュージアム飛騨スタッフの皆様、そして、サービスデザイン研究会に参加いただいている家具メーカーの皆様に感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 内藤耕 東京大学出版会 サービス工学入門
- 2) 成瀬哲哉他、岐阜県生活技術研究所研究報告、No.12, pp.43-47, 2010
- 3) 成瀬哲哉他、岐阜県生活技術研究所研究報告、No.13, pp.9-12, 2011
- 4) 札幌芸術の森美術館におけるiOSデバイスを用いた美術館ナビゲーション事例  
<http://www.apple.com/jp/articles/report/sapporomuseum/>
- 5) アップルジャパン株式会社, iOS Human Interface Guidelines, 2011
- 6) 浅輪武生 浅川玄、公共システムにおけるタッチパネルのユーザーインターフェースデザイン 雑誌 FUJITSU2003-5 月号 (VOL.54, NO.3) p.225-231
- 7) 石村貞夫 東京図書 SPSSによるカテゴリ駆るデータ分析の手順
- 8) 室淳子, 石村貞夫 東京図書 SPSSでやさしく学ぶ多変量解析[第2版]
- 9) 石村貞夫 東京図書 SPSSによる多変量データ解析の手順
- 10) 大坪五郎、Gards-変化し続ける興味に対応する情報推薦、WISS2005 日本ソフトウェア科学会インタラクティブシステムとソフトウェア研究会
- 11) 大坪五郎、「人間」に情報を推薦することについて考える、ヒューマンインターフェース学会誌 Vol.9 No.4 2007

1	10	19	28	37	46	55	64
2	11	20	29	38	47	56	65
3	12	21	30	39	48	57	
4	13	22	31	40	49	58	
5	14	23	32	41	50	59	
6	15	24	33	42	51	60	
7	16	25	34	43	52	61	
8	17	26	35	44	53	62	
9	18	27	36	45	54	63	

附録：公開実験に用いた椅子一覧

# 家具販売支援システムの研究開発（第2報） 木製椅子の 3D データ化手法に関する研究

窪田直樹、成瀬哲哉

## Research for furniture business support systems (II) Making 3D Model of Wooden Chair from Some photographs

Naoki KUBOTA, Tetsuya NARUSE

木製椅子の販売手法の一つとして、顧客の部屋の写真と、販売店側の椅子のデータを合成し、部屋に椅子を置いたときの予想図を顧客に提示する手法を提案する。部屋の写真から 3D モデルを作成する「インタラクティブ 3 次元室内モデラ<sup>1)</sup>」を産業技術総合研究所が開発しており、本研究では椅子の 3D データ化と、プレゼンテーション部分の開発を行う。

今年度は、家具の 3D 化に用いるモデリングソフト「insight3d」に、汎用 3D データフォーマットである COLLADA への出力機能を実装した。また、「インタラクティブ 3 次元室内モデラ」のデータを COLLADA に変換するプログラムも開発し、両者のデータを合成した。

### 1. 緒言

木製家具は意匠性が高く、購入の際には機能だけでなくデザインも考慮されることが多い。このとき、単体でのデザインが優れているかどうかだけではなく、部屋に置いたときに部屋の雰囲気と合うかどうかにも重要になる。明るく広いショールームで受けた印象と、自室に置いた場合の印象が大きく異なった場合、顧客満足度の低下にもつながりかねない。

そこで、顧客の部屋の写真と販売店の椅子のデータを店頭で合成し、プレゼンテーションするためのシステムを提案する。システムは、販売店の家具の 3D 化、顧客の部屋の写真の 3D 化、両者の合成と表示の 3 つのサブシステムから構成される。顧客は、家具を設置したい部屋の写真を撮影し、メール等で販売店に送付する。販売店は、その写真を 3D 化し、その後、事前に 3D 化しておいた自社の家具と合成、顧客の来店時にプレゼンテーションする。ここで、部屋写真・家具ともに 3D 化するのは、どのような位置・角度から部屋や家具が撮影されても違和感なく合成するためと、室内における家具のレイアウト確認に使えるようにするためである。すでに、産業技術総合研究所が写真から部屋の 3D 化を行う「インタラクティブ 3 次元室内モデラ」を開発しているので、本研究では家具の 3D データ化を行う。

### 2. insight3d

insight3d<sup>2)</sup>は、2010年11月にオープンソース(GNUAGPL3ライセンス<sup>3)</sup>)で公開されたイメージベースド・モデリングソフトウェアであり、複数の角度から撮影した写真を元に、3Dモデルを作成することができる。insight3dの操作画面を図1に示す。insight3dで作成したデータは独自形式のため、他のソフトウェアで利用することができない。そこで、汎用の3Dデータ形式であるCOLLADA形式で出力する機能を追加した。また、画像処理では、写真から家具の大きさや向き(傾き)を自動で判断できないため、これを解決する手法を加えた。

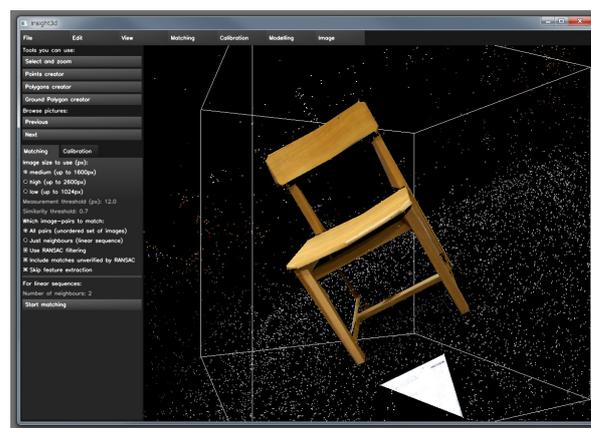


図1 insight3dの操作画面

## 2.1 insight3dのデータ構造

insight3dでは、物体のデータを、頂点の配列、ポリゴンの配列、画像の配列で管理し、それぞれをインデックスで関連付けている。これにより、複数のポリゴンで一つの頂点や画像を共有する際の重複を減らしている。表1に、主な変数名と内容を示す。

表1 主な変数名と内容

変数名	内容
Vertex	頂点の座標、色
Vertices	頂点の配列など
Polygon_3d	ポリゴンを構成する頂点の番号、各頂点に対応する画像中の座標
Polygons_3d	ポリゴンの配列
Shot	画像のファイル名、大きさ、キーポイントなど
Shots	画像の配列
Image_Loader_Request	読み込んだ画像の情報

## 2.2 COLLADA出力機能の追加

COLLADA形式<sup>4)</sup>は、3D CGアプリケーション間の交換用ファイルフォーマットとして規格化されたもので、CADアプリケーションでの採用例は少ないが、3Dモデリングアプリケーション、表示アプリケーションでは採用例が増えてきている。COLLADA形式はXMLで書かれており(拡張子は.dae)、タグと呼ばれる識別子の中に情報が記述されている。表2に、主なタグ名と内容を示す。

表1 主なタグ名と内容

タグ名	内容
asset	日付、単位系など
library_images	画像ファイル名
library_effects	環境、反射率などの効果情報
library_materials	表面材質情報
library_geometries	頂点座標、ポリゴン情報など
library_visual_scenes	複数のポリゴンをまとめたシーン情報
scene	全てのシーン情報

本研究では、insight3dにCOLLADA出力の機能を追加した。出来上がるCOLLADAデータの可搬性を高めるため、COLLADAファイル(.dae)と同じフォルダに新規フォルダを作成し、その中に画像ファイルをコピーすることとした。COLLADAファイルから画像へのリンクは相対リンクとしたので、COLLADAファイルとフォルダを同時にコピーすれば、他のフォルダやコンピュータへの移動も可能である。

## 2.3 大きさと向き(傾き)の修正

人間は写真に写っている物の大きさや正しい向きを推定できるが、画像処理でそれを行うことは困難である。そこで、写真を撮る際にA4用紙を床面に置いて撮影し、モデリング時にA4用紙の4隅のうちの3点を選択することで、その大きさからモデル全体の大きさを決定するようにした。また、A4用紙がモデル空間のXY平面(Z座標=0)に一致するようにモデル全体を回転・移動させた。さらに、3DモデルのXZ座標軸がA4用紙の縦横に合うように回転させた。これにより、事前に椅子の向きとA4用紙の向きを合わせておけば、他のソフトウェアで読み込んだときの位置合わせ・向き合わせが容易になる。椅子とA4用紙を一緒に撮影した写真をinsight3dに取り込んだときの操作画面を図2に示す。なお、insight3dは巨大なプログラムであるため、COLLADA出力の時のみに座標変換を行うようにし、他の処理に影響が出ないようにした。

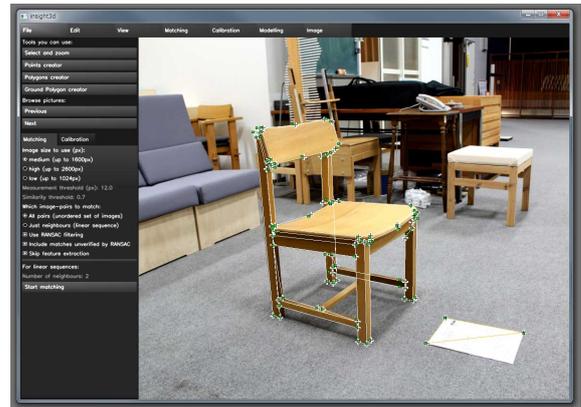


図2 椅子とA4用紙

## 3. インタラクティブ3次元室内モデラコンバータ

インタラクティブ3次元室内モデラは、産業技術総合研究所が開発した、写真から室内(床、壁など)を3D化するソフトウェアである。室内は床・柱など水平・垂直のものが多くという点を利用して、容易にモデリングできるという特徴がある。

本研究では、インタラクティブ3次元室内モデラ出力データをCOLLADA形式に変換するコンバータプログラムを作成した。また、モデラの現在のバージョンではテクスチャ座標が計算されていなかったため、頂点座標からテクスチャ座標を算出する機能もコンバータに含めた。なお、インタラクティブ3次元室内モデラは、頂点座標をローカル座標系(1枚の写真から作ったモデルの座標系)で持ち、ローカル座標系からグローバル座標系(複数のローカルモデルを統合したもの)への変換をロ

一カルモデルごとに行っているが、COLLADA変換の際には全てグローバル座標系に変換した。

インタラクティブ3次元室内モデラの操作画面を図3に示す。

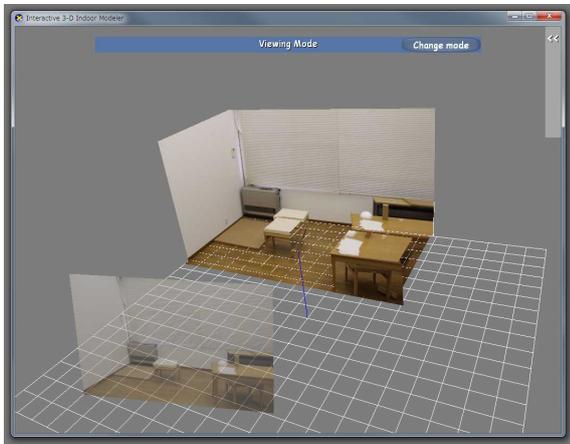


図3 インタラクティブ3次元室内モデラ

#### 4. 出力結果

insight3dおよびインタラクティブ3次元室内モデラでモデリングを行い、COLLADA形式で出力、合成した。

##### 4.1 椅子のモデリング

1脚の木製椅子を20方向から撮影し、insight3dに取り込んでモデリングを行った。撮影した20枚の写真を図4に示す。

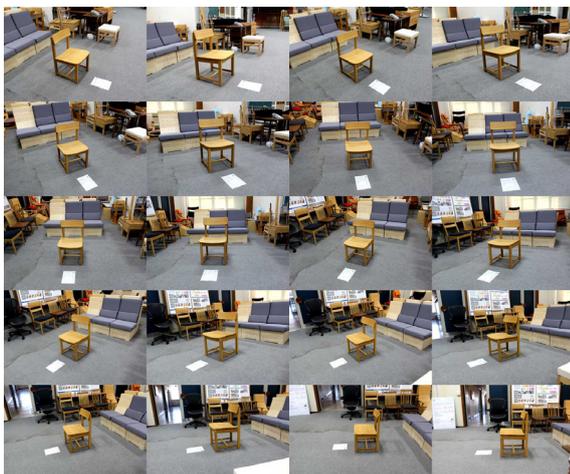


図4 撮影した写真

椅子は、全高75cm、全幅45cm、奥行き48cmであった。

出力したCOLLADAデータをShade Professional<sup>1)</sup>に読み込んだ画面を図5に示す。

変換前のモデルデータは図1のように傾いた状

態であったが、変換によりShadeの上面図、正面図、側面図に椅子が正しく表示されている。また、A4用紙のZ座標が0になっている。取り込んだ椅子データの全高、全幅、奥行きはそれぞれ77cm、44cm、49cmであり、誤差は数%に収まった。

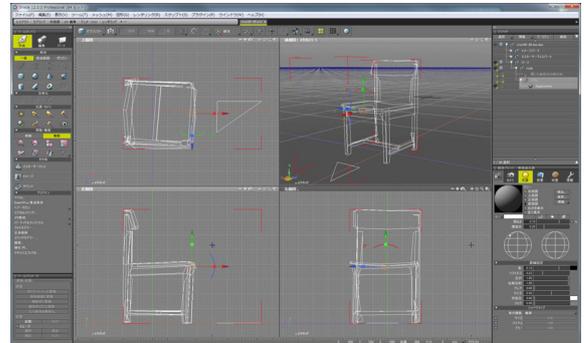


図5 Shadeの画面

レンダリングした椅子画像を図6に示す。3D化することにより、図4で撮影した写真とは異なる角度から見た椅子を再現することができた。



図6 レンダリングした椅子

##### 4.2 部屋のモデリング

部屋を2方向から撮影し、インタラクティブ3次元室内モデラに取り込んでモデリングを行った。撮影した写真を図7に、変換したCOLLADAデータをShade Professionalに読み込みレンダリングした部屋の画像を図8に示す。



図7 部屋の写真



図8 レンダリングした部屋

図8の左壁の模様や、右奥の棚がゆがんでいるが、写真を壁や棚の正面から撮影していないにもかかわらず、テクスチャを正面から貼ったためである。今後、テクスチャ画像自体を投影変換しなおす必要がある。

#### 4.3 データの合成

4.1節で用いた椅子と、別途用意したスツールを4.2節の部屋に置いたときの写真を図9に示す。また、4.1節で作成した椅子モデルと、別途作成したスツールモデルを、4.2節で作成した部屋モデルと合成しレンダリングした画像を図10に示す。合成の際、椅子・スツールの位置・向きが図9の写真と同じになるようにしたが、大きさの変更は行っていない。光の当たり具合などは異なるが、比較的似た雰囲気が出ており、部屋と椅子の大きさについても大きな問題はない。

図11に、合成したモデルを上方から見下ろすように設定したレンダリング画像を示す。通常では撮影できない、天井より高い位置からのレンダリング画像である。このように、椅子の配置などの確認をコンピュータ上で行うことができる。



図9 椅子を置いた部屋の写真



図10 部屋と椅子のレンダリング画像



図11 上方から見たレンダリング画像

#### 5. まとめ

木製椅子の3Dデータ化手法として、イメージベースド・モデリングを行うアプリケーション「insight3d」にCOLLADA出力機能を追加した。また、「インタラクティブ室内モデラ」の出力データをCOLLADA形式に変換するためのプログラムを作成した。insight3dでCOLLADA出力する際に、向きや大きさが正しくなるような手法を導入した。

これにより、COLLADA形式を読み込むことができる3D CGソフトウェアで部屋と椅子データの合成を行うことができた。

#### 参考文献

- 1) Tomoya Ishikawa, Thangamani Kalaivani, Takashi Okuma, Keechul Jung and Takeshi Kurata, "Interactive Indoor 3D Modeling from a Single Photo with CV Support", IWUVR2009(Jan)
- 2) Lukas mach, "insight3d"  
URL:<http://insight3d.sourceforge.net/>
- 3) Free Software Foundation, "GNU Affero General Public License"  
URL:<http://www.gnu.org/licenses/agpl-3.0.html>
- 4) KHRONOS GROUP, "COLLADA"  
URL:<http://collada.org/>
- 5) e frontier "Shade"  
URL:<http://shade.e-frontier.co.jp>

# 骨盤および腰部角度調整椅子の開発

宮川成門、藤巻吾朗

## Development of pelvis and lumbar angle adjustment chair

Naruto MIYAGAWA, Goroh FUJIMAKI

加齢による姿勢の変化のため、一般椅子の設計に身体が合わない方をモデルとし、身体形状に沿うように骨盤部と腰部の角度調整ができる椅子を開発した。試作品は、モデルとなる高齢者の座位姿勢を測定し、座面、骨盤部、腰部の寸法を設定した。また、角度調整にはリクライニング椅子用パーツの6°ピッチギアを用いた。モデル高齢者が試作品を用いたところ、一般椅子による姿勢に比べ、安定した座位が可能となった。

### 1. 緒言

老人福祉施設においては、要介護高齢者で歩行能力や立ち上がる能力がある方に対して、車いす座位のみでなく、椅子を活用する考え方が一般化している。これは、長時間座位で過ごすための快適性や豊かな住環境デザインを考慮した場合、椅子の機能が好まれるからである。しかしながら、一般的な椅子は高齢者の姿勢に配慮された設計ではないため、全ての高齢者が快適に座れるという訳ではない。

一般的に椅子形状は、立位における人の姿勢を基準としており、骨盤を立てて座り、腰椎前彎、胸椎後彎というS字の曲線を描くように設計されている。これに対し人の脊柱は、加齢に伴い腰椎前彎の減少と胸椎後彎の増大<sup>1)</sup>のため、背中が丸くなる姿勢に変化するとされている。こうした高齢者が前方を見るように椅子に座ると骨盤が後傾し、不安定で苦痛な姿勢となる。

また、過去の当所における成人男性の実験では、人の立位姿勢に比較して、座位姿勢では骨盤が後傾し、腰椎の前彎が減少する傾向があるという結果を得ている<sup>2)</sup>。想定範囲ではあるが、筋力が衰えた高齢者にとっての楽な座位姿勢では、この傾向が顕著に表れるのではないかと考えられる。

以上のことから、骨盤部から腰部にかけての角度調整機能を有する椅子があれば、多くの高齢者が快適に座れると仮定して試作を行うこととした。

### 2. モデル高齢者の姿勢測定

#### 2.1 測定概要

開発のきっかけは、特別養護老人施設職員から

の、ある高齢女性（以下Aさん）の椅子座位に関する相談であった。Aさんは座位可能であるが、脊柱の腰から背中にかけて大きく彎曲しており、背もたれ付きの椅子で座位をとると身体が椅子に合わず、図1のように頭が前方に倒れてしまうという状態であった。2脚の椅子による姿勢を確認したが、双方とも背形状と椅子の背座角が適正でないのが明かであったため、了承を得てAさんの自然な座位姿勢の測定を行うこととした。なお、測定にあたり、専門知識を要する姿勢の矯正には関与しないこととし、以下の手順および図2のように行った。



図1 椅子座位での問題姿勢

- ①座面が水平のスツールに深く腰掛け、前方を見た自然な姿勢をとる。
- ②足置きを用い、膝関節が約90°になる状態に座面高を調整する。
- ③以上の状態で、背形状を測定具を用いて測定し、目安となる骨の位置を確認する。
- ④座面と臀部の接触状態の参考にするため、同時にXSENSOR（XSENSOR TECHNOLOGY製）を用いて体圧分布測定を行う。



図2 測定姿勢（左）および測定具（右）

## 2.2 測定結果

背形状の測定結果を図3に示す。これから判断すると、骨盤はほとんど後方に倒れ、仙骨部で体重を支えているといえる。図4に示す体圧分布結果を見ても、座面後方の仙骨部に圧力が集中しているのが確認できる。また、胸椎は10番付近が大きく突出しているため、通常の椅子に座ると、背もたれにその部分が押されるような状態となり、頭部が前に倒れてしまうと考えられた。この状態では、椅子に触れる部分が大腿部、仙骨部、突出した胸椎のみと考えられ、骨盤から腰部が浮いており、そこにかかる上半身の体重による負担が心配された。

以上の結果から、Aさんが前方を見た自然な座位で身体をしっかりと支えられる椅子を設計する必要があると考えられた。

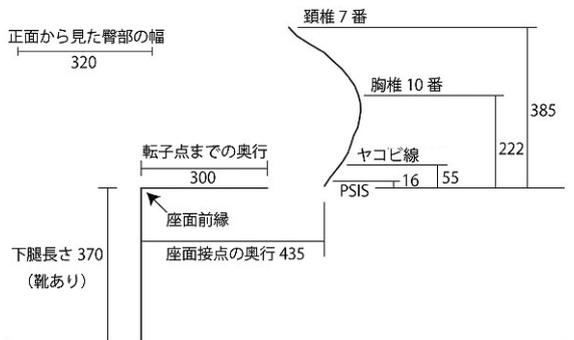


図3 背形状の測定結果

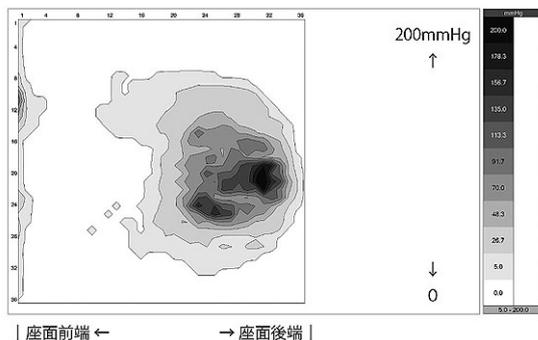


図4 座面の体圧分布図

## 3. 設計・試作

### 3.1 仮合わせ

一般椅子は、座面と背もたれの2面による構成であり、その角度は用途により異なるが、おおよそ $100^{\circ} \sim 120^{\circ}$ 程度である。Aさんがこうした椅子に座る場合、後傾した骨盤と座面の間、骨盤から伸びる胸椎10番付近までと背もたれの間、胸椎10番付近から頭部にかけてと背もたれの間隙が生じることとなる。そこで、座面、骨盤部、腰部、背部、頭部という5面による構成で、身体のラインに沿うように各部位の面が角度調整できる椅子を作成し、仮合わせを行った。各面の角度調整についてはリクライニング椅子用パーツの $16^{\circ}$ ピッチギアを用いた。その結果、骨盤と腰部の角度を調整して支持すれば、背部と頭部の支持は不要であり、頭部が前方に倒れることなく、正面を見た状態で姿勢が安定することが確認できた。着座姿勢の様子を図5に示す。



図5 仮合わせ用椅子の構成（左）と仮合わせ時の安定姿勢状態（右）

### 3.2 試作

仮合わせの結果、試作では座面、骨盤部、背もたれという3面による構成とし、細かい角度調整ができるように、リクライニング椅子用パーツの $6^{\circ}$ ピッチのギアを用いた。試作品を図6に示す。

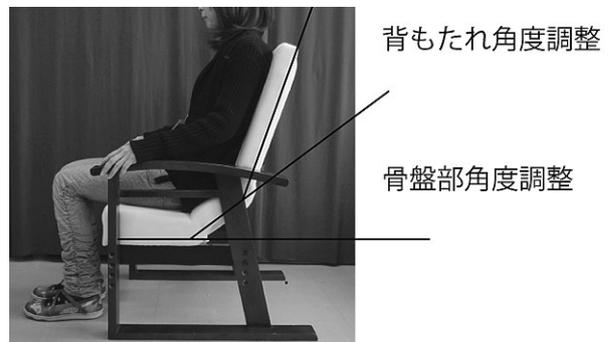


図6 試作品

#### 4. 評価

試作した椅子を用いて、Aさんの着座テストを行った。Aさんの場合、骨盤部の角度を $150^\circ$ 、骨盤部に対する腰部の角度を $145^\circ$ と調整することで、頭部が前方に倒れることなく、正面を向いた座位が可能となった。身体と椅子の適合状況を確認するために、施設で使用しているダイニングチェアと、最適な角度設定をした試作品に座ったAさんの身体形状を、シェイプテープ (measurand製) を用いて座面前縁から頸椎7番付近までを測定し、同時に体圧分布測定を行った。



図7 試作品での座位姿勢



図10 ダイニングチェアでの座位姿勢

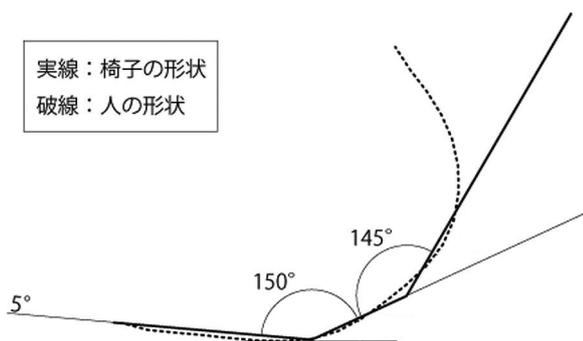


図8 試作品形状と身体形状

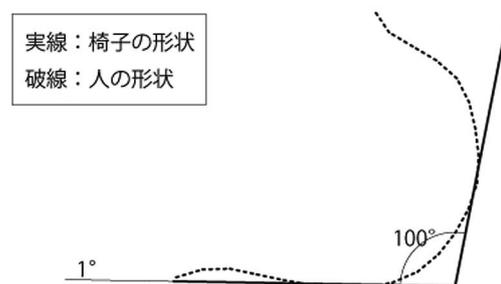


図11 ダイニングチェア形状と身体形状

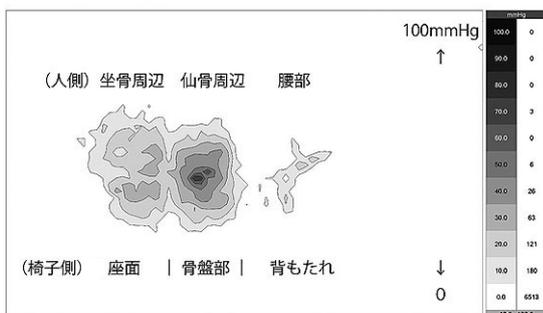


図9 試作品での体圧分布図

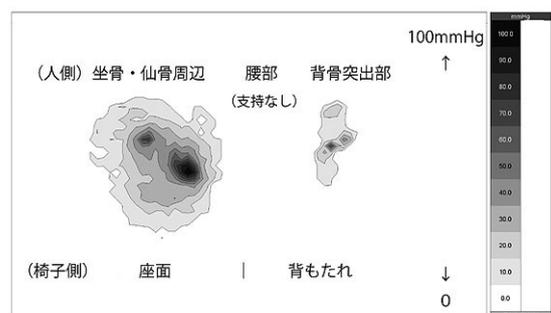


図12 ダイニングチェアでの体圧分布図

## 5. まとめ

脊柱に大きな彎曲がある高齢者が自然な椅子座位を可能にするために、一般的な椅子座位で生じる骨盤部と腰部の隙間を、適正な角度で支える椅子を開発した。なお、開発関係者間においては、当初の想定通り、角度設定により健康な人でも安楽であるという感想が出ているため、今後はさらに広いユーザーにとって実用的な椅子になるように設計を進めたい。

## 謝辞

本研究は明光ホームテック株式会社および岐阜県立飛騨寿楽苑（社会福祉法人 岐阜県福祉事業団）との共同で行った。また、財団法人越山科学技術振興財団の研究助成金により実施したことを記し、感謝の意を表す。

## 参考文献

- 1) 戸山芳昭 監修：脊椎・脊髄，羊土社
- 2) 藤巻吾朗：人間・生活者視点による人にやさしい製品開発（第2報）立位・座位姿勢での人体の3次元形状，岐阜県生活技術研究所研究報告，No. 10，pp8-10，2008

# 弦楽器演奏用自助具の開発

宮川成門

## Development of self-help device for playing guitar

Naruto MIYAGAWA

弦楽器の演奏グループに参加している頸髄損傷ユーザーの依頼を受け、腕の力を利用することで、指先の力がなくてもコードが押さえられ、曲の演奏を可能とする自助具を開発した。開発した自助具は、ネック部分に添えるように加工したパーツを手のひらに装着するもので、肩の力と「てこ」のしくみで金具部分が弦を押さえるようになっている。義肢装具業者も開発に加わることで、長時間の装着性や着脱のしやすさにも配慮した。

### 1. 緒言

障がいを持つ方が自分の困難な動作を可能にするための道具を自助具という。食事用の自助具など、多くのニーズがあるものは、一般化しており商品として購入できるものがある。ただしユーザーの身体能力や生活ニーズは多様であるため、ボランティアや自作による自助具が大半である。このため個々のアイデアと作成技術に影響する部分が大きく、ニーズを解決していくためには、事例の積み重ねとその情報交換が大切である。

今回、障がい者による弦楽器の演奏グループに参加している頸髄損傷ユーザーの依頼を受け、弦の押さえと開放を可能とするための自助具を作成したので報告する。

### 2. 依頼時の状況

演奏グループで使用している弦楽器は、一五一会(株式会社ヤイリギター製)という商品である。通常のギターが左手の複雑な指の動きでコードを押さえる必要があるのに対し、この楽器は人差し指1本でコードの押さえが可能となっている。このため押さえる人差し指の位置を変えるだけで、曲の演奏が可能である。初心者、高齢者などでも挑戦しやすい簡単な弦楽器であるため、このグループでも活用していた。

一方依頼者は、頸髄損傷者であり、肩の全般の動きと肘の屈曲に関しては動作可能だが、肘の伸展、手首、握力に関しては麻痺により力が出せない状態である。現在の演奏方法としては、図1のようにピックの把持には、右手専用の自助具を使用している。また、コードの押さえについては、

カポタスト(演奏補助器具のひとつ)を使用し、一つの音階だけを曲の中の必要なタイミングで部分的に奏でるという状態であった。このため、曲の中では手を動かさず待っている状態が多く、上肢が使えるメンバーが曲を演奏するのに頼らざるを得ない状態であった。そこで一曲演奏可能となるように、コードを押さえるための自助具が欲しいとの要望があった。



図1 ピック用装具とネック部分のカポタスト

### 3. 調査

#### 3.1 必要機能確認

作成を開始するにあたり、依頼者から自助具に必要な機能についてヒアリングを行った。弦を弾く部分は右手のピック用自助具で解決しているため、必要なものは左手でコードを押さえるための自助具である。目標動作は以下のとおりとした。

- ・弦の押さえと開放がすばやくできる
- ・押さえる弦の位置がすばやく変えられる
- ・装着とセッティングが自分でできる
- ・健常者と同様の自然な演奏姿勢で演奏できる

### 3.2 可能な動作の確認

依頼者に演奏姿勢を再現してもらい、その状態で左手が可能な動作を確認した。肩の筋力はあるため、図2のようにネック部分に添えた手を滑らせて位置を変えろという動作が可能であった。その他に、図3のように肩の外転内転動作に連動させて、ネックに添えた手のひらの角度をわずかに変えろという動作が可能であった。肘や手首の筋力はないため、あまり力はいれられないが、この動きを利用して、小さな力で弦を押さえるしくみを考えることとした。



図2 ネック部分での上肢の移動



図3 肩の動きに伴う手のひらの動き

## 4. 試作

### 4.1 ギター装着型

弦を押さえるという点で発想したのはカポタストを応用することであった。まず最初に図4のように、手のひらを返す動きでレバーを操作することで、ネック部分を上下からバネ機構で挟む自助具を試作した。しかしながら、バネを閉めるための力調整、ネック上での位置替え、ネック部分が重くなり、一五一会を支えるスタンドが必要になるため演奏姿勢が自然ではない等、目標を達成するには多くの課題解決が必要であった。そこで手に装着するタイプの自助具案に変更した。

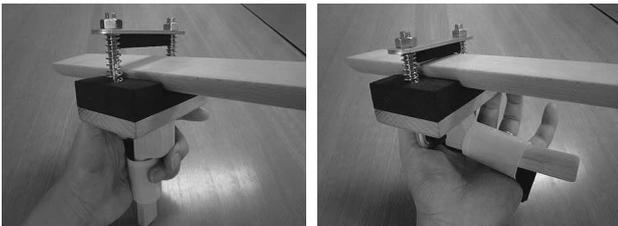


図4 バネを利用して挟み込む自助具案

### 4.2 手のひら装着型

手に装着し、小さな筋力で弦を押さえる力を生じさせ、かつ道具としては軽量である条件から、てこの応用によるシンプルな機構を考えた。図5は、グリップ部分上部のパーツが、コの字型の形状に開いており、この部分にネックを入れて、ネックの下部にあたる部分を支点として弦を押さえるしくみである。この考えにより依頼者の腕の力でも弦を押さえ、かつコード移動が可能となったため、その後は、押さえやすさ、力の入りやすさ、手のひらへの装着性の高さ、自分で装着できることなど、使い勝手を中心に改良を進めた。

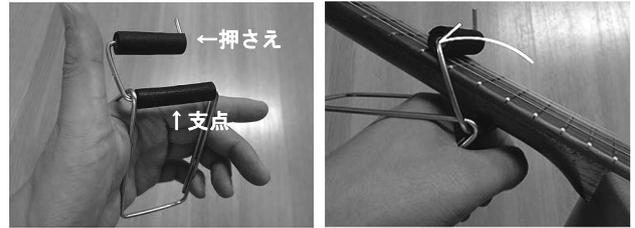


図5 てこの応用で押さえる自助具案

### 4.3 完成品

目標動作が達成できるまで5～6回の試作を繰り返し、完成形とした。以下および図6～8に完成形の概要と使用状態を示す。

- ・コの自型のパーツは三角形の一点が開いたような形状に変更した。コの字型の時は断面が半円形のネックを1つの支点で支えており安定性に欠けたため、2つの支点ではさむように支えるようになっている。
- ・弦を押さえるパーツは、押さえやすさと押さえる位置を移動するさいのすべりやすさに考慮し、ステンレス棒にゴムを巻き、表面にフェルトを巻いたものにした。またこのパーツは使用者の上肢の状態に応じて対応できるように角度等の微調整を可能にした。
- ・手のひらの装着部分については義肢装具業者と連携した。長時間使用しても外れることがないよう、手のひらの形状に合うように樹脂を加工し、SMLサイズ作成した。手のひらへの固定にはマジックベルトを用いているが、介助なしで着脱できるように配慮した。
- ・自然な演奏姿勢で、スムーズな弦の押さえと開放が可能となり、一曲演奏ができるようになった。

## 5. まとめ

頸髄損傷者が使用できる自助具を作成した。依頼者の反応は良好で、現在は、グループのコンサートにおいて使用している。指先機能が衰えた方

全般に使えると思われ、展示会などでは高齢者や特別支援学校等で使うと良いのではという意見も得ている。限られた用途の自助具ではあるが、こうした場面においても使用していただくことで、リハビリや、音楽を楽しむ方法として活用していただけたらと考える。

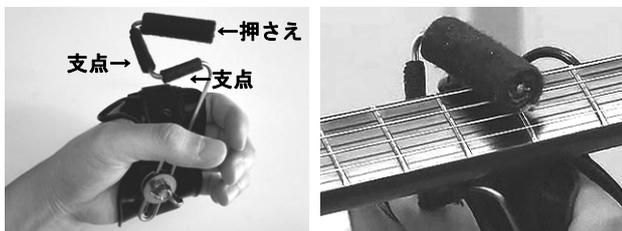


図6 完成品およびネックへの装着

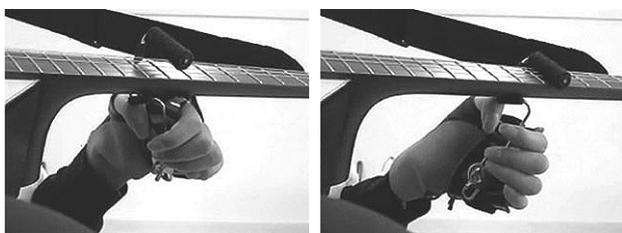


図7 弦の開放（左）と押さえ（右）



図8 演奏状況

### 謝辞

開発品は日本リハビリテーション工学協会主催の福祉機器コンテストにおいて優秀賞をいただいた。また、開発は文部科学省地域イノベーションクラスタープログラム（都市エリア型）岐阜県南部エリア事業（中核機関：岐阜県研究開発財団）の関連製品として取り組んだものであり、三重大学大学院工学研究科機械工学専攻の矢野賢一教授、株式会社名光ブレースとの共同により実施した。ここに感謝の意を表す。

# 未利用バイオマスの資源有効利用（第2報） 木材・プラスチック複合材押出成形体の曲げ特性

今西祐志、伊藤国億

## Effective Utilization of Wood Biomass as Material Resource (II) Bending Property of Wood/Plastic Composite by Extrusion Molding

Hiroshi IMANISHI, Kuniyasu ITO

繊維状木粉を原料として木材・プラスチック複合材の押出成形を行い、押出成形時の挙動、曲げ特性に対する木粉割合及びスクリュ回転速度の影響を検討した。押出成形においては擬塑性流体の特徴が確認され、木粉割合70%の場合に圧力が最大となる特徴的な挙動が確認された。曲げ特性については、弾性率及び曲げ強度は木粉割合70%までは増加する一方、靱性は木粉割合が大きいくほど低下する可能性が示唆された。繊維状木粉の配向による異方性はとくに弾性率と曲げ強度で顕著に現れており、木粉割合が小さいほど強い異方性が確認された。

### 1. 緒言

林地残材や建築廃材といった低品質の木質バイオマスを有効利用する手段として、木粉と熱可塑性プラスチックを混合して加熱溶解し、混練・成形した複合材（木材・プラスチック複合材、混練型WPC）に変換する技術が注目されている。木質バイオマスは、エネルギーとしての利用も進められているが、木材を材料として長期間使用することにより、温室効果ガスの放出を削減する効果が期待できるため、木質バイオマスをさらに付加価値の高い材料に変換する技術が求められている。

主に建築資材などの用途で利用が進んでいる混練型WPCであるが、さらなる利用拡大のためには強度面などでの性能向上が必要である。木粉は多くの場合、増量や木質系意匠の付与を目的として用いられているが、木材は元来繊維質な材料であるので、木粉調製において繊維としての特性を活かすことにより、プラスチックとの複合において高い補強効果が期待できる<sup>1, 2)</sup>。また、押出や射出といった流動をともなう成形では、流動方向に繊維状木粉が配向し、複合材に異方性が発現する。

本研究では、ディスクミルを用いた湿式粉碎により繊維状木粉を調製し、押出成形によりプラスチックと複合したWPCの曲げ特性を調べ、それに及ぼす木粉割合、スクリュ回転速度の影響を検討した。

### 2. 実験方法

#### 2.1 木粉の調製

気乾状態（含水率約12%）のスギ（*Cryptomeria japonica*）を、φ2mmのスクリーンを取り付けたカッターミル（株）ホーライ、BO-210）により粉碎して一次粉碎物を作製した。これを5wt%の水懸濁液として、微粉碎用砥石（増幸産業（株）、MKE6-46）を取り付けたディスクミル（増幸産業（株）、MKCA6-2）により湿式磨砕を行った。ディスク回転速度は2000rpm、クリアランスは30μmとして繊維状木粉を得た<sup>3)</sup>。

#### 2.2 押出成形

木粉割合が60、70、80wt%となるようプラスチックおよび相容化剤と混合した。プラスチックはポリプロピレン（日本ポリプロ（株）、ノバテック PP BC6DR、ランダム系、MFR=2.5）を使用した。また、木粉とプラスチックの相容性を高めるための相容化剤は無水マレイン酸変性ポリプロピレン（化薬アクゾ（株）、カヤブリッド 006PP）を使用した。混合物を180℃で押出成形して、断面寸法が幅60×厚さ3mmの板材を作製した。押出成形には混練押出試験装置（株）東洋精機製作所、4C150、2軸押出装置、2D25S）を使用した。混練型WPCのような複合材では、原料の混練度が強度物性に大きく影響するが、その一方で、繊維状の充填材が混練過程で短く切断されて補強効果が低下するお

それがある。この点を検討するため、シリンダへの混合物の供給速度を一定 (10g/min) とし、スクリュ回転速度を25、50、75rpmとして押出成形を実施した。

### 2.3 曲げ試験

試験体は、その軸方向が押出方向と平行なもの (流れ方向試験体、MD試験体と称す) と直交するもの (横方向試験体、TD試験体と称す) をそれぞれ採取した。試験体寸法は幅20×厚さ3×長さ70mmで、試験体数は各条件で8体である。支点間距離は60mmで、試験速度は3mm/minである。試験には材料試験機 (株) 島津製作所、AG-50kN) を使用した。

## 3. 結果と考察

### 3.1 押出成形時の挙動

図3.1に、押出成形時のトルクに対する木粉割合の影響を示す。スクリュ回転速度が25rpmの場合、木粉割合が大きくなるほどトルクが小さくなる減少傾向が見られ、50rpmの場合には同様の減少傾向ではあるがその傾きは小さく、75rpmでは木粉割合70%でトルクが最大であった。スクリュ回転速度の影響を見ると、いずれの木粉割合でも回転速度が大きくなるほどトルクが小さくなっており、擬塑性流体の特徴が現れている。図3.2に、押出成形時の圧力に対する木粉割合の影響を示す。いずれのスクリュ回転速度でも木粉割合70%で最大の圧

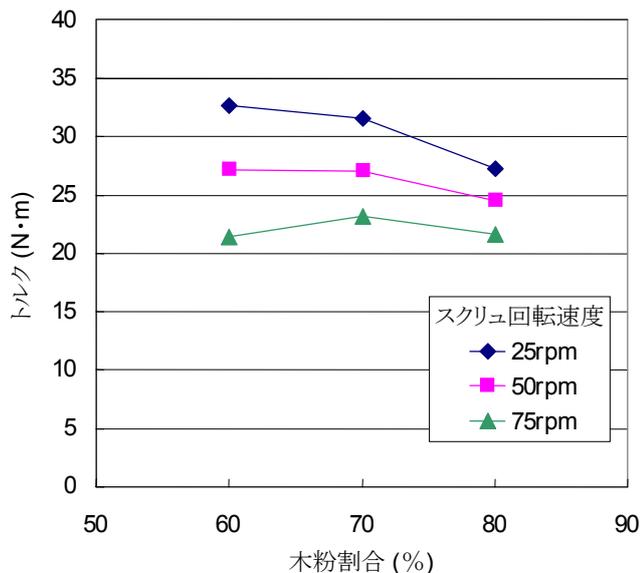


図 3.1 木粉割合の押出成形時のトルクへの影響

力値が現れており、この場合に最も高い補強効果のある相互作用が木粉-樹脂間に発現していることが予想される。スクリュ回転速度の影響を見ると、回転速度が大きくなるほど圧力が小さくなっており、流れが強くなるほど流動しやすくなった結果と考えられる。

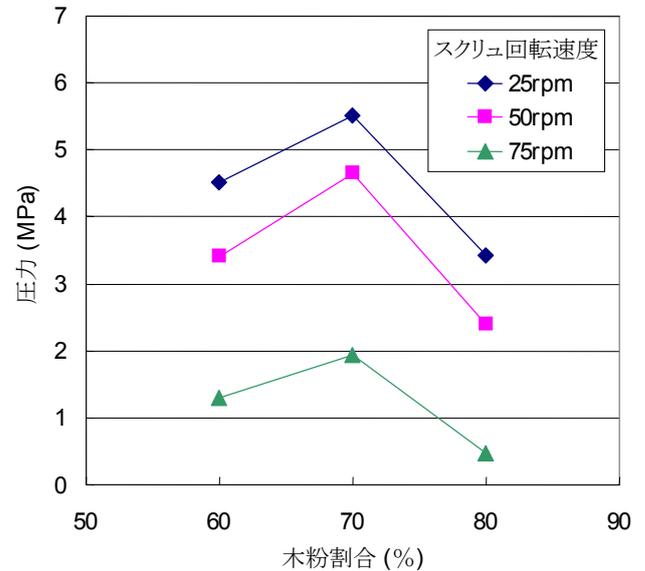


図 3.2 木粉割合の押出成形時の圧力への影響

### 3.2 曲げ特性

#### 3.2.1 弾性率

図3.3に、弾性率に対する木粉割合の影響を示す。木粉割合が大きくなるほど補強効果によって弾性率が大きくなる傾向が見られるが、MD試験体では木粉割合70%を超えても弾性率はあまり変わらない。回転速度の弾性率への影響を見ると、いずれの木粉割合でも弾性率に大きな差は見られない。MD試験体とTD試験体とを比較すると、MD試験体の弾性率の方が大きく、繊維状木粉の配向による異方性の発現が認められる。図3.4に、MD試験体とTD試験体の弾性率の比較を示す。木粉割合の弾性率比への影響を見ると、木粉割合が大きい方が弾性率比は小さく、木粉割合が小さいほど配向が進んでいることが分かる。これは、押出成形における材料の流動において木粉同士の間隔が比較的広く、せん断流れの中で配向しやすかったことによるものと考えられる。また、いずれの木粉割合においても弾性率比は大差なく、スクリュ回転速度の違いによる配向度合いへの影響は見られない。

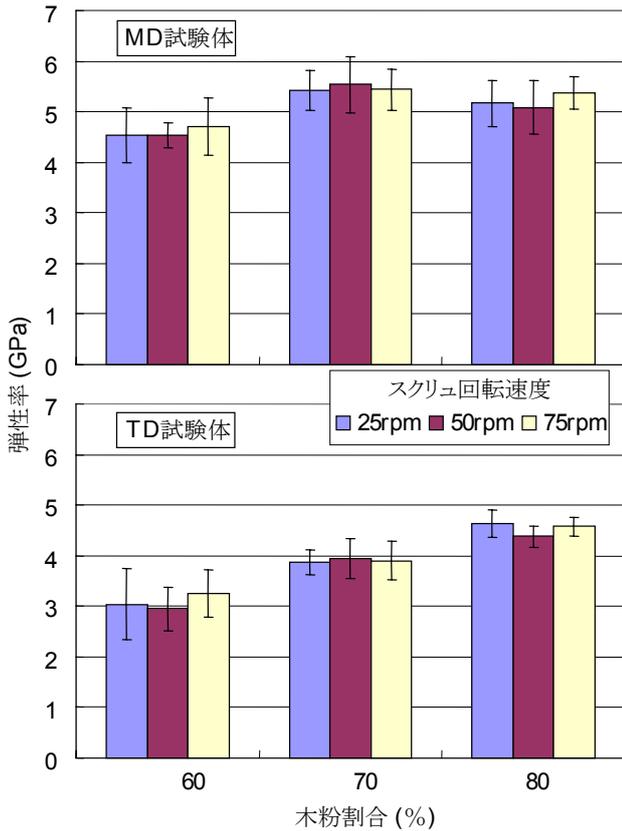


図 3.3 木粉割合の弾性率への影響

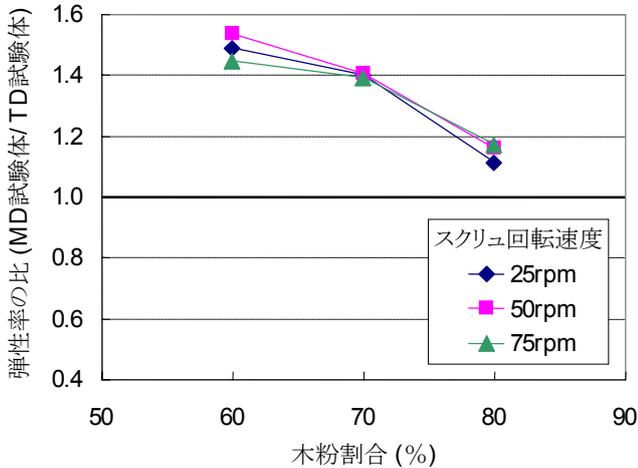


図 3.4 弾性率の異方性

### 3.2.2 曲げ強度

図3.5に、曲げ強度に対する木粉割合の影響を示す。木粉割合70%で曲げ強度は最大となっており、木粉割合80%では繊維状木粉の補強効果は十分に発現していない。弾性率は材料の比較的小さ

い変形における特性を表しているのに対し、曲げ強度は比較的大きい変形における特性で、木粉-樹脂間の界面強度によって大きく左右される<sup>4)</sup>ことから、木粉割合80%では木粉過多により十分な界面強度となっていないものと考えられる。回転速度の影響を見ると、いずれの木粉割合でも顕著な差は認められないことから、スクリュ回転速度を大きくしても繊維状木粉の切断は生じなかったと推察される。MD試験体とTD試験体を比較すると、弾性率と同様、MD試験体の方が曲げ強度は大きく、繊維状木粉の配向による異方性が認められる。図3.6に、MD試験体とTD試験体の曲げ強度の比較を示す。弾性率比と同様な傾向が現れており、木粉割合が大きい方が曲げ強度比は小さく、また、いずれの木粉割合でも曲げ強度比に対するスクリュ回転速度の影響は小さい。全体的には弾性率比の方が大きい値を示しており、配向による異方性の発現は弾性率の方が顕著であると言える。

### 3.2.3 静的曲げ仕事量

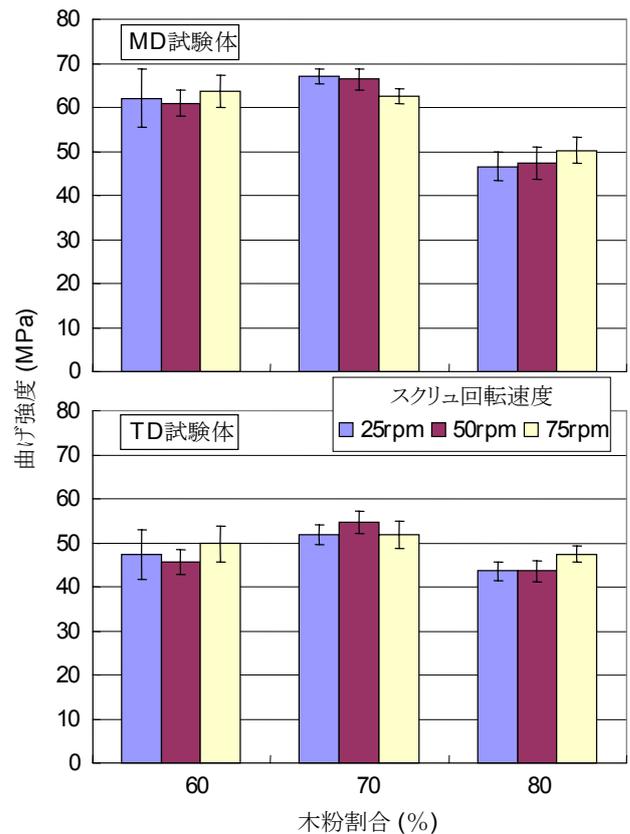


図 3.5 木粉割合の曲げ強度への影響

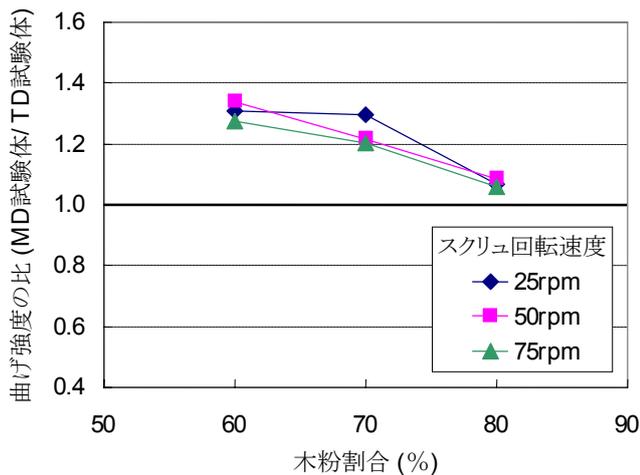


図 3.6 曲げ強度の異方性

図3.7に、静的曲げ仕事量に対する木粉割合の影響を示す。木粉割合が大きくなるほど静的曲げ仕事量は小さくなっており、靱性が低下する可能性を示唆している。回転速度の影響を見ると、弾性率や曲げ強度と同様に、いずれの木粉割合でも顕著な差は見られない。MD試験体とTD試験体の比較では、先の弾性率や曲げ強度のようにMD試験体の方が大きい値を示しているが、その差は明確ではなく、異方性はあまり大きくない。図3.8に、MD試験体とTD試験体の静的曲げ仕事量の比較を示す。弾性率や曲げ強度と異なり、比の値に対する木粉割合の影響は比較的小さく、木粉割合の増大に伴う明確な減少傾向は見られない。

#### 4. 結言

繊維状木粉を原料として木粉割合60~80%で木材・プラスチック複合材の押出成形を実施し、押出成形時の挙動、曲げ特性について、木粉割合及びスクリュ回転速度の影響を検討した。得られた知見は次のようにまとめられる。

- 1) 押出成形時のトルクはスクリュ回転速度が大きいほど小さく、擬塑性流体の特徴が確認された。圧力は木粉割合70%の場合が最大で、この場合に最も高い補強効果のある相互作用が木粉-樹脂間に発現していることが予想された。
- 2) 曲げ特性への木粉割合の影響については、MD試験体の弾性率及び曲げ強度は木粉割合70%までは増加、静的曲げ仕事量は木粉割合が大

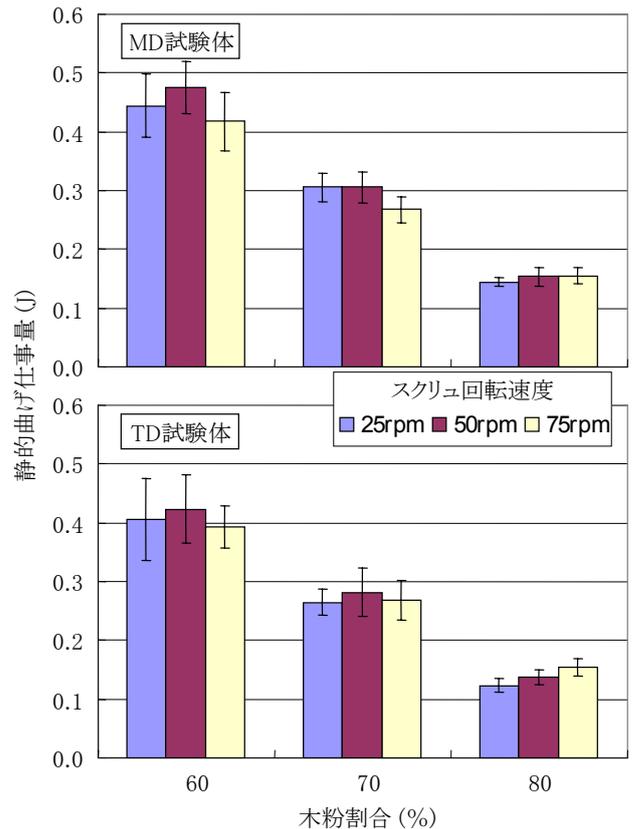


図 3.7 木粉割合の静的曲げ仕事量への影響

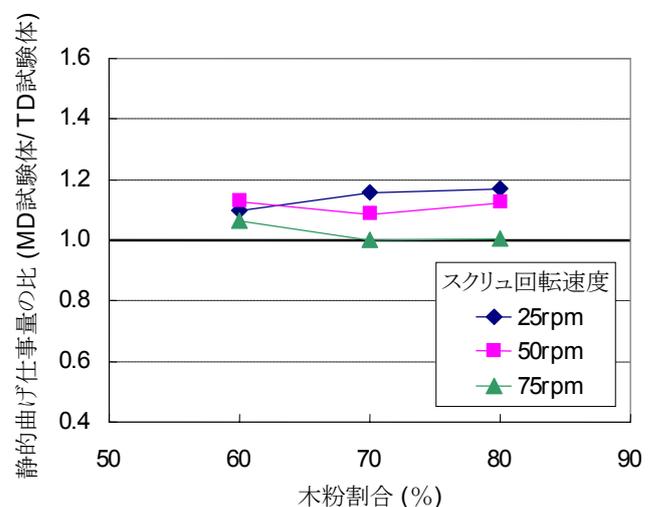


図 3.8 静的曲げ仕事量の異方性

- きいほど減少する傾向にあった。スクリュ回転速度の影響は明確でなく、繊維状木粉の切断は生じていないと推察された。
- 3) 異方性についての検討から、繊維状木粉の配向による補強効果が認められた。異方性はと

くに弾性率と曲げ強度で顕著に現れており、木粉割合が小さいほど強い異方性が確認された。

#### 文献

- 1) R. Kumari, H. Ito, M. Takatani, M. Uchiyama, T. Okamoto, *J. Wood Sci.*, **53**, 470 (2007).
- 2) 伊藤 弘和、服部 英広、岡本 忠、遠藤 貴士、李 承桓、藤 正督、寺本 好邦、吾郷 万里子、今西 祐志、高谷 政広、繊維学会誌、**67**(1)、1-7 (2010).
- 3) 今西祐志、足立隆浩、岐阜県生活技術研究所研究報告、No. 12、22-26 (2011).
- 4) フィラー研究会編、複合材料とフィラー、(株) シーエムシー出版、43-50 (2004).

## 遮音・通気性能を有する木製ドアの開発（第3報）

木村公久

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

Kimihisa KIMURA

前年度の実験結果から通気性の確保が期待できる通気路形状である「一の字」型を基に、低い周波数帯域における遮音性の向上を図るため、表面材の素材および組合せの検討を行い、試作した供試体による通気ならびに遮音性能評価を行った。

全周波数帯域において遮音性が良好だと思われる表面材の組合せは、MDF2.5t+ハードボード3.5t+制振シート1.5tの組合せであり、音響透過損失は500Hz-14.8dB、1kHz-15.2dB、2kHz-23.2dB、4kHz-38.2dBであった。一般的にフラッシュドアの表面材として用いられているMDF2.5tの供試体と比較すると、500Hzで4.1dBの遮音性の向上がみられたが、寸法安定性および加工性を考慮して芯材の一部にスギを用いたことにより、2kHz以下において遮音等級T-1を下回る結果となった。

#### 1. 緒言

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

前年度は通気性の確保に重点を置いた4種類の通気路形状について、試作した供試体により性能評価を行ったところ、いずれの通気路形状においても実寸サイズのドアで100cm<sup>2</sup>以上の総相当隙間面積が期待できる結果が得られた。しかし遮音性については、コア材にグラスウールを用いた供試体において、中心周波数1.6kHz以上は遮音等級T-1を上回っていたが、1.25kHz以下は下回る結果であった<sup>3)</sup>。そこで今回は、低い周波数帯域の遮音性の向上を図るため、構成する表面材の素材および組合せの検討を行った。

#### 2. 実験方法

##### 2.1 供試体

前年度の供試体は、芯材をグラスウール(32kg/m<sup>3</sup>)のみで形成させたことにより、表面材とコア材との接着性および表面材の反りの問題がみられたため、今回は寸法安定性を考慮してグラスウールの間に木(スギ)の芯材を入れる構造とした。また通気路形状については、4種類で形状の違いによる通気性および遮音性の目標レベルでの大きな差はみられなかったため、木芯材を入れやすいという加工性を考慮して「一の字」型にした。

供試体の大きさは、トイレ用ドア(外寸:W693×H1,985×D36mm)の上下を約半分に分割した大きさで、全通気部分の1/2を確保でき、かつ今年度新たに導入した隔壁開口調整パネルを用いて簡易に測定を行うためにW600×H890mmとした。空気の流れは、供試体表面の通気孔から入った空気が供試体内部の通気路を通り、裏面の通気孔から出るという流れである。供試体表面の通気孔は、表裏面ともに20×110mmの孔を6ヶ所設け、開口孔の総面積は132cm<sup>2</sup>とした。また供試体内部の通気路断面は前年度と同様に23.2×110mmとした。供試体の通気路形状の概略図を図1に示す。図中の色塗部分は供試体内部の通気路を示し、斜線部分はグラスウールを配置した箇所を示す。

表面材として用いた材料は、MDF2.5t、MDF5.5t、ハードボード3.5t(以下、HB)、遮音シート1.3tおよび制振シート1.5tである。これらの材料を用い

て10種類の組合せの供試体を試作した。供試体の仕様を表1、試作した供試体を図2に示す。前年度データとの比較のため、芯材をグラスウールのみで形成させたものがNo.1である。また、全ての供試体の枠材にはスギを用いた。なお、通気性を確保するために通気路の厚みは23.2mmに統一したため、供試体の総厚は表面材の構造によって異なる。

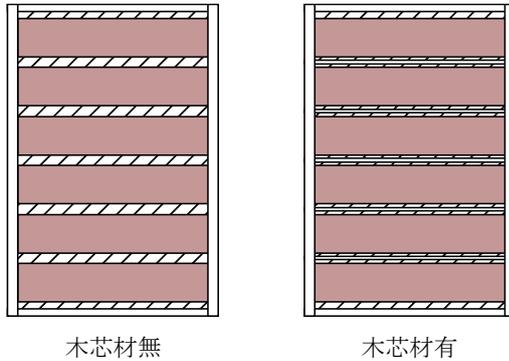


図1 供試体の通気路形状の概略図

表1 供試体の仕様

供試体	木芯材	表面材構造 (表面から内部に向けて)	質量 (kg)
No. 1	無	MDF5.5t	5.24
No. 2	有	MDF5.5t	5.49
No. 3	有	MDF2.5t	3.10
No. 4	有	MDF2.5t + HB	7.04
No. 5	有	MDF2.5t + 遮音シート	5.64
No. 6	有	MDF2.5t + 制振シート	6.01
No. 7	有	MDF2.5t + HB + 遮音シート	9.78
No. 8	有	MDF2.5t + 遮音シート + HB	9.71
No. 9	有	MDF2.5t + HB + 制振シート	9.92
No. 10	有	MDF2.5t + 遮音シート 2層	8.31



図2 試作した供試体

## 2.2 通気性能評価

### 2.2.1 測定方法

測定は、気密性測定器(コーナール株式会社製)を用いた。これは住宅用の気密性能を評価する装置であるが、音響特性評価装置(2.3.1に説明)に供試体を設置して測定することによって、供試体の通気性能を簡易的に評価した。この測定器は、供試体の表裏におよそ10~50Paの圧力差を生じさせ、5点の圧力差とこの時の通気量から隙間の大きさである総相当隙間面積を算出する。

供試体の片側にプラスチックダンボール製の囲いを設置し、この囲いに取り付けた気密性測定器から囲い内へ空気を送り込む加圧法で測定を行った。各供試体につき5回測定を行い、この平均値によって通気性能を評価した。

### 2.2.2 供試体の設置方法

供試体の設置状況を図3に示す。隔壁開口調整パネルを用いて、供試体を取り付けるためのW900×H900mmの開口を設けた。この開口の中央部に通気測定用の囲いを設置し、左右両側にスギ角材をはめ込んで開口を塞ぎ、供試体を中央部に入れて全体を固定した。なお供試体の通気孔以外からの空気漏れを防ぐため、隙間は油粘土を付けて塞いだ。



加圧側 開放側

図3 通気性能評価測定

## 2.3 遮音性能評価

### 2.3.1 測定方法

測定は、音響特性評価装置(株式会社小野測器製)を用い、JIS A 1416<sup>4)</sup>に準じて、平成20年度地域イノベーション創出共同体形成事業で確立した測定方法<sup>5)</sup>によって行った。音響特性評価装置を図4に示す。この装置は音源室と受音室の2室の残響室で構成され、この隔壁に供試体を設置した状態で、音源室に音を発生させた時の音源室と受音室の音圧レベルを測定することにより、供試体の遮音性能を表す音響透過損失を算出する。なお、各試験室の容積が小さい(音源室: 24.8m<sup>3</sup>, 受音室:

23. 2m<sup>3</sup>) ため、低い周波数における音圧分布が安定しないという点から、1/3オクターブにおいて中心周波数100～315Hz未満の測定値は参考値となる。



音源室 受音室  
図 4 音響特性評価装置

### 2. 3. 2 供試体の設置方法

供試体の設置状況を図 5 に示す。隔壁開口調整パネルを用いて、供試体を取り付けるための W900 × H900mm の開口を設けた。左右両側にスギ角材をはめ込んで開口を塞ぎ、供試体を中央部に入れて全体を固定した。なお供試体以外からの音の透過を防ぐため、隙間は油粘土を付けて塞いだ。また音源室側については、木部にも油粘土を付けた。



音源室側 受音室側  
図 5 遮音性能評価測定

## 3. 結果と考察

### 3. 1 通気性能評価

総相当隙間面積の測定値ならびに表面に設けた通気孔総面積 (132cm<sup>2</sup>) との比率を表 2 に示す。

No. 1 から No. 9 の測定値については、供試体および測定による多少の差はみられたものの、いずれの供試体においても 50cm<sup>2</sup> 以上の総相当隙間面積が得られた。No. 10 のみ 50cm<sup>2</sup> を下回る値となったが、この供試体内面の遮音シートにたわみがみられたことから、内部の通気路断面積が小さくなっ

たことによって低下したと考えられる。内部の通気路断面積が確保されていれば、一の字型は前年度結果と同様に実寸サイズのドアにおいて 100cm<sup>2</sup> 以上の総相当隙間面積が期待できる結果となった。

表 2 総相当隙間面積測定値

供試体	総相当隙間面積 (cm <sup>2</sup> )					通気孔総面積との比率 (%)	
	測定値						平均値
No. 1	51	52	51	51	50	51.0	39
No. 2	52	54	52	54	52	52.8	40
No. 3	55	55	55	55	54	54.8	42
No. 4	51	56	52	52	53	52.8	40
No. 5	54	54	51	52	55	53.2	40
No. 6	55	52	52	54	54	53.4	40
No. 7	51	52	50	53	53	51.8	39
No. 8	53	51	52	54	53	52.6	40
No. 9	54	54	54	52	51	53.0	40
No. 10	49	47	49	47	47	47.8	36

### 3. 2 遮音性能評価

音響透過損失の測定値を表 3 に示す。また、これらの測定値を JIS A 4702 に換算し、1/3オクターブ値により作成した比較グラフを図 6 から図 8 に示す。

前年度データおよび No. 1 と No. 2 の比較グラフを図 6 に示す。前年度の供試体 (+) は、No. 1 (\*) と同じく表面材に MDF5.5t、芯材にグラスウールを用いたものであるが、芯材の幅が No. 1 よりも 10mm 厚い

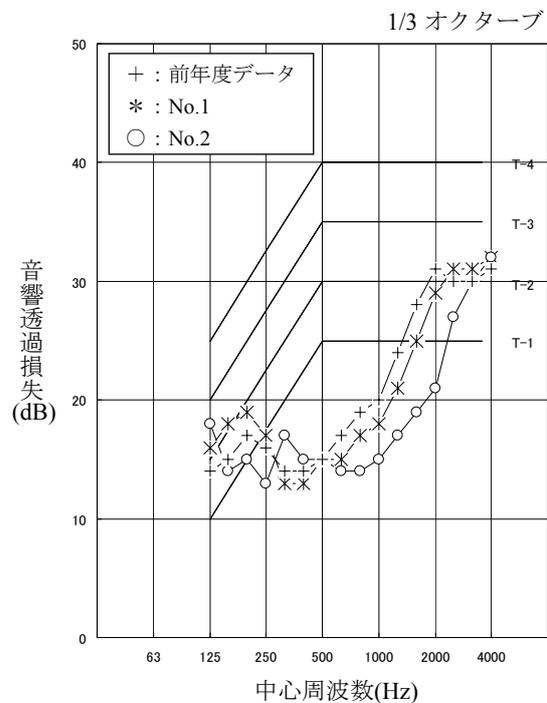


図 6 音響透過損失比較グラフ 1

表 3 音響透過損失測定値

供試体	中心周波数(Hz)												
	315	400	500	630	800	1,000	1,250	1,600	2,000	2,500	3,150	4,000	5,000
No. 1	13.3	13.1	15.4	15.4	16.9	18.2	21.4	24.7	28.6	30.6	31.2	32.0	31.5
No. 2	16.6	14.8	14.5	14.1	13.9	14.7	16.6	19.2	21.3	27.4	30.1	31.7	30.5
No. 3	13.5	12.7	10.7	11.3	13.6	14.9	17.3	19.7	23.4	27.4	32.3	35.5	37.2
No. 4	15.7	15.2	13.6	15.3	14.8	14.9	16.5	19.0	21.5	27.4	31.4	32.9	31.9
No. 5	16.2	11.3	12.8	12.1	13.8	14.9	17.0	19.8	23.5	28.4	35.0	38.8	39.4
No. 6	16.5	12.8	13.4	12.7	14.0	15.1	17.2	20.1	23.2	28.8	35.3	39.2	39.6
No. 7	15.9	15.4	13.7	16.7	15.3	15.0	16.9	19.6	23.0	29.5	34.5	36.6	36.0
No. 8	15.6	15.1	13.4	16.4	16.5	16.1	17.2	19.6	22.6	28.9	33.1	34.4	34.7
No. 9	16.0	15.6	14.8	18.5	15.4	15.2	17.1	19.9	23.2	29.2	35.3	38.2	38.5
No. 10	14.0	13.6	13.4	13.4	14.4	15.9	18.0	20.5	23.6	29.7	36.4	39.6	40.3

(単位：dB)

仕様であった。このため、周波数特性にも変化がみられ、No. 1は前年度データよりも315Hzから2kHzにかけて遮音性が低下しており、この最大差は1.6kHzの3.4dBであった。芯材にスギを入れたNo. 2(○)は、No. 1に対して315Hzで3.3dB、400Hzで1.7dBの向上がみられたが、500Hz以上の遮音性は低く、この最大差は2kHzの7.3dBであった。

No. 2からNo. 6の比較グラフを図7に示す。一般的にフラッシュドアの表面材として用いられているMDF2.5tはNo. 3(△)である。このMDF2.5tを基準にHB、遮音シートおよび制振シートを組合せたもの

がNo. 4(◇)、No. 5(□)およびNo. 6(×)である。周波数特性をみると、No. 2(MDF5.5t)とNo. 4(MDF2.5t+HB)、No. 5(MDF2.5t+遮音シート)とNo. 6(MDF2.5t+制振シート)が互いに近い特性であった。特性が近いNo. 2およびNo. 4は、No. 3に対して800Hz以下の遮音性が高く、1kHz以上は一部同じ値の周波数もみられたものの全体的に低かった。またNo. 5およびNo. 6は、No. 3に対して315Hz、500Hz、630Hzおよび2.5kHz以上の遮音性が高く、800Hzから2kHzにかけてはほぼ近い値であった。この2つの特性において遮音性が良好な方であったNo. 4とNo. 6を比較す

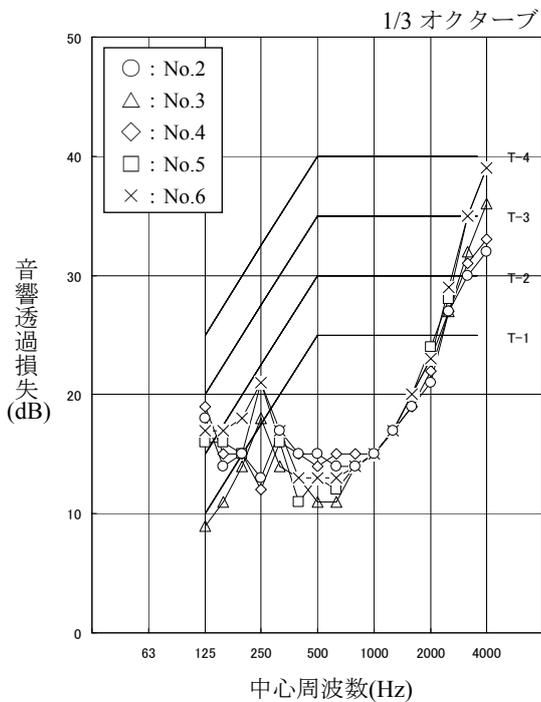


図7 音響透過損失比較グラフ2

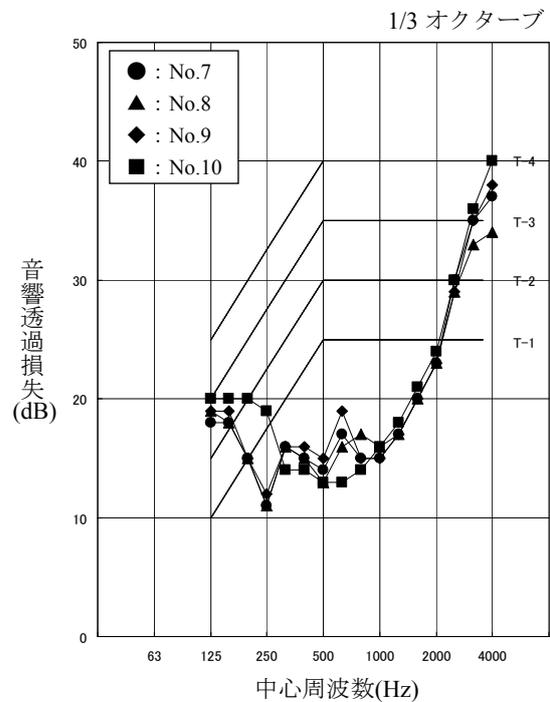


図8 音響透過損失比較グラフ3

ると、No. 4は400Hzから800Hzにかけて遮音性が高く、315Hzおよび1kHz以上はNo. 6の方が高かった。各中心周波数において最も遮音性が高かった供試体は、500Hzは表面材にMDF5.5tを用いたNo. 2、1kHzおよび4kHzはMDF2.5tに制振シートを組合せたNo. 6、2kHzはMDF2.5tに遮音シートを組合せたNo. 5であった。以上の結果より、No. 2からNo. 6の供試体について全周波数帯域から判断して比較的良好だと思われる組合せは、低い周波数帯域において比較的に遮音性が高かったNo. 4のMDF2.5t+HBの組合せであった。

No. 7からNo. 10の比較グラフを図8に示す。No. 7(●)、No. 8(▲)およびNo. 9(◆)は、No. 4のMDF2.5t+HBの組合せに、遮音シートおよび制振シートを組合せたものである。またNo. 10(■)は、MDF2.5tに遮音シート二枚を組合せたものである。HBと遮音シートの組合せ方を変えたNo. 7(MDF2.5t+HB+遮音シート)とNo. 8(MDF2.5t+遮音シート+HB)を比較すると、No. 7は3.15kHz以上の遮音性が1dB以上高く、800Hzおよび1kHzはNo. 8の方が1dB以上高かったが、この他の周波数については比較的に近い値であった。No. 9については、500Hz、630Hzおよび4kHz以上でNo. 7およびNo. 8よりも遮音性が1dB以上高かった。No. 10については、800Hz以下において遮音性が最も低く、逆に1.25kHz以上において遮音性が最も高かった。各中心周波数において最も遮音性が高かった供試体は、500HzはMDF2.5tにHBと制振シートを組合せたNo. 9、1kHzはMDF2.5tに遮音シートとHBを組合せたNo. 8、2kHzおよび4kHzはMDF2.5tに遮音シートを2枚組合せたNo. 10であった。以上の結果より、No. 7からNo. 10の供試体について全周波数帯域から判断して比較的良好だと思われる組合せは、低い周波数帯域において比較的に遮音性が高かったNo. 9のMDF2.5t+HB+制振シートの組合せであった。

No. 1からNo. 10の供試体について最も遮音性が良好であった表面材の組合せは、No. 9のMDF2.5t+HB+制振シートの組合せであり、この音響透過損失は500Hz-14.8dB、1kHz-15.2dB、2kHz-23.2dB、4kHz-38.2dBであった。一般的にフラッシュドアの表面材として用いられているMDF2.5tのNo. 3と比較すると、500Hzで4.1dBの遮音性の向上がみられたが、前年度の供試体と比べて芯材の幅を小さくしたことで、寸法安定性および加工性を考慮して芯材の一部にスギを用いたことにより、2kHz以下において遮音等級T-1を下回る結果となった。

#### 4. まとめ

今回の実験結果より以下の知見が得られた。

- 1) 中心周波数400Hzから800Hzの遮音性を高めるには、HBを組合せるかMDFの厚みを増すことが有効である。
- 2) 中心周波数2.5kHz以上の遮音性を高めるには、遮音シートまたは制振シートを組合せることが有効である。

本研究において、一般的にフラッシュドアの表面材として用いられているMDF2.5tの供試体と比較すると、500Hzで4.1dBの遮音性の向上がみられたものの、T-1等級の遮音性能を有する遮音通気ドアの開発にはいたらなかった。遮音性能を上げるためには、あまり実用的ではないが表面材の厚みをさらに増すか、ドア内部で効果的に吸音する通気路形状を用いることが必要であると考えられる。

#### 参考文献

- 1) JIS A 4702 : 2000, 「ドアセット」.
- 2) 換気マニュアル作成委員会 (事務局 (財) ベタリービング) : 住宅の換気設備マニュアル (H15.5.1版) ,2003.
- 3) 木村公久他 : 岐阜県生活技術研究所研究報告, No.13, pp.31-35, 2012. 遮音・通気性能を有する木製ドアの開発 (第3報).
- 4) JIS A 1416 : 2000, 「実験室における建築部材の空気音遮断性能の測定方法」.
- 5) 木村公久他 : 岐阜県生活技術研究所研究報告, No.11, pp.57-60, 2010. 簡易残響室を用いた音響透過損失測定方法の確立.

# 木材・木質材料の高機能化に関する研究（第2報） オレイン酸を用いた耐候性向上

三井勝也

## Study on High Functionalization of Wood and Wood-based Materials (II) Improvement of weather resistance by mixed anhydride treatment using oleic acid.

Katsuya MITSUI

天然物を積極的に用いた木材の耐候性向上を目指し、無水酢酸とオレイン酸を用いた混合無水物処理を木材に適用し、その耐候性について検討した。無水酢酸とオレイン酸の混合モル比が1:1の場合は、処理温度および処理時間の増加とともに重量増加率は上昇したが、混合モル比が1:2以上では処理条件にともなう重量増加率に有意な差はみられなかった。降雨ありの耐候試験の場合、すべての試験片において、 $\Delta E^*$ は耐候試験初期で上昇した後低下し、その後、再び上昇した。これは、耐候試験初期では黄変が生じるものの、その後、白化が引き起こされるためであると考えられた。重量増加率が4%程度以上であれば、降雨ありの耐候試験初期ではアセチル化木材よりも高耐候性を示した。

### 1. 緒言

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

近年、アセチル化だけではなく、エステル化についての研究も行われている。無水カルボン酸を用いることによりエステル化を行うと、アセチル化同様に高寸法安定性が得られることが報告されている<sup>8)</sup>。また、天然物を積極的に導入する手法として、混合無水物処理が提案されている。混合無水物処理とは、無水カルボン酸と脂肪酸の混合溶液中で木材の処理を行うと、二種類のエステル化が同時に反応するというものである。本処理法では、低置換度にもかかわらず、処理材の寸法安定性は向上し、撥水性も向上する。その一方で、吸放湿性もアセチル化木材に比べ優れている<sup>13,14)</sup>。昨年度は数種の脂肪酸を用いた混合無水物処理材

の耐候性について検討したところ、無水酢酸-カプリル酸処理材、無水酢酸-カプリン酸処理材、および無水酢酸-オレイン酸処理材がアセチル化と同等、あるいは高い耐候性を示した<sup>15)</sup>。

今年度は処理条件の緩和を目的とし、処理への取り扱いやすさを考え、混合無水物処理にはオレイン酸（融点：16.3℃）を選定し、その耐光性について検討した。

### 2. 実験方法

#### 2.1 供試材料

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

#### 2.2 無水酢酸-オレイン酸混合処理

混合無水物処理には、無水酢酸とオレイン酸の混合物（モル比 1:1, 1:2, および 1:3）を用いた。混合溶液中で試験片を 80, 100, および 120℃で 1, 2, および 4 時間処理し、風乾した後、ソックスレー抽出器を用い、エタノール抽出を 16 時間行い、未反応の試薬を溶脱した。また、比較として無水酢酸のみによるアセチル化も行った。

### 2.3 材色測定

材色測定には色差計 SE-2000(日本電色工業株式会社)を用い、材色表示は CIELAB 表色系に従った(図 1)。測定直径は 6mm とし D<sub>65</sub> 光源、10 度視野を適用した。なお、明度指数(L\*)、クロマティックネス指数(a\*およびb\*)の差および色差は次式によって求められた。

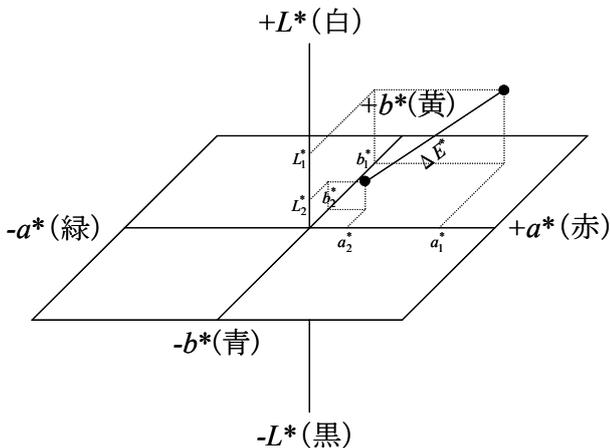


図 1.色空間

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

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

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

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

ここで、L<sub>t</sub>\*、a<sub>t</sub>\*、および b<sub>t</sub>\*は処理後の L\*、a\*、および b\*であり、L<sub>s</sub>\*、a<sub>s</sub>\*、および b<sub>s</sub>\*は処理前の L\*、a\*、および b\*である。

### 2.4 耐候性試験

耐候性試験はスーパーキセノンウェザーメータ(SX-75：スガ試験機(株))を用い実施し、108 分間の光照射および 12 分間の光照射下での降雨を 1 サイクルとし、これを最大 100 サイクル(200 時間)行った。光照射時の槽内の条件は、ブラックパネル温度 63℃、槽内湿度 50%RH とした。

## 3. 結果と考察

### 3.1 重量増加

図 2 に混合無水物処理による重量増加率を示す。無水酢酸とオレイン酸の混合モル比が 1:1 の場合、処理温度、および処理時間の増加にともない、重量増加率は増加した。混合モル比が 1:2 および 1:3 の場合、重量増加率は著しく低下し、処理温度および処理時間についても有意な差はみられなかった。Peydecastaing<sup>13)</sup>は 140℃1 時間処理において、

無水酢酸-オレイン酸混合処理について置換度から検討した結果、オレイン酸の置換度はモル比とともに直線的に増加するものの、アセチル基の置換度は、モル比が 1:1.5 を越えると著しく低下することを示した。この結果、混合モル比が 1:2 以上では重量増加率が著しく低下したものと考えられる。

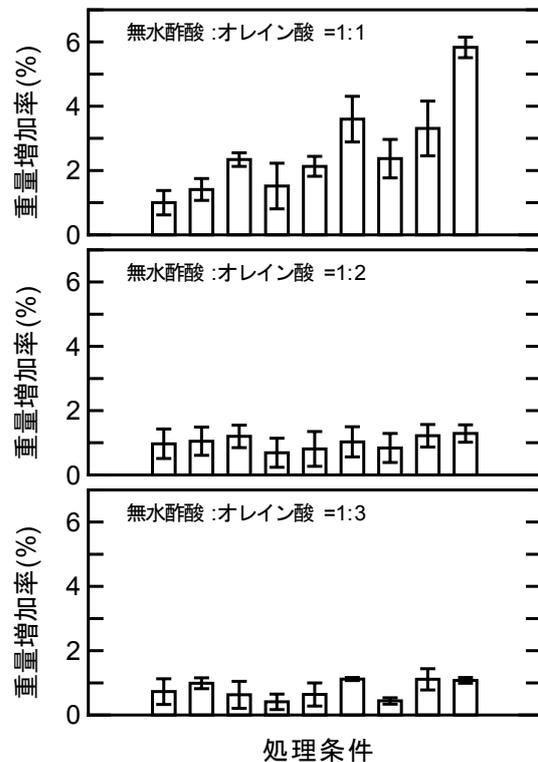


図 2. 重量増加率におよぼす処理条件の影響  
各図左から、80℃1,2,4 時間処理、100℃1,2,4 時間処理、120℃1,2,4 時間処理

### 3.2 耐候性評価

図 3 に無処理材の降雨なし耐光試験 (○)、降雨あり耐候試験 (●)、および混合無水物処理材(120℃ 4 時間処理)の降雨あり耐候試験 (▲) による ΔL\* と Δb\* の関係の一例を示す。一般に、降雨をともしない耐光試験の場合、耐光処理時間にもない黄変が進行することから、図 3 に示すように、ΔL\* の低下と Δb\* の上昇が引き起こされ、その結果として、ΔE\* は耐光処理時間とともに増加する。一方、降雨をともしない耐候処理の場合、処理の初期の段階で黄変は引き起こされるが、処理サイクルの進行にともない、黄変成分が降雨により洗い流されることから、白化が起こるため、ΔL\* と Δb\* の上昇が引き起こる。その結果、ΔE\* は耐候処理の初期では上昇し、その後、低下した後、再び上昇するという現象が確認された。

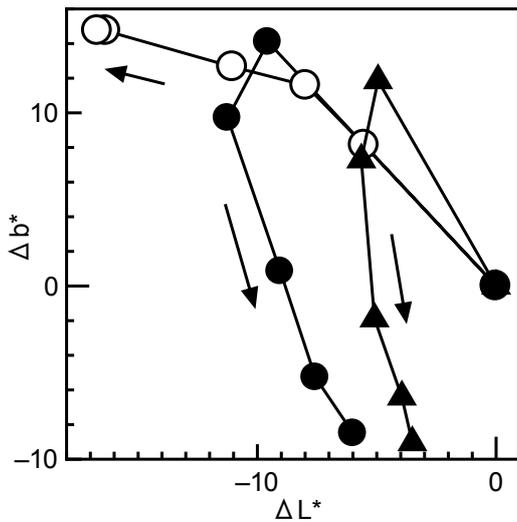


図 3. 耐候試験による  $\Delta b^*$  と  $\Delta L^*$  の関係  
 ○：無処理材の降雨なし耐光試験、●：無処理材の降雨あり耐候試験、▲：混合無水物処理材(120°C 4 時間処理)の降雨あり耐候試験

図 4 に耐候試験による処理材の  $\Delta E^*$  と重量増加率の関係を示す。●, ○, および●は、それぞれ、耐候試験 10 サイクル後における、無水酢酸-オレイン酸混合溶液のモル比 1:2, 1:1, およびアセチル化を、■, □, および■は、それぞれ、耐候試験 50 サイクル後における、無水酢酸-オレイン酸混合溶液のモル比 1:2, 1:1, およびアセチル化を示す。また、直線はアセチル化木材の  $\Delta E^*$  の変化から求められた回帰直線であり、耐候試験 10 サイクルおよび 50 サイクル後のアセチル化木材の  $\Delta E^*$  の回帰直線はそれぞれ  $y = -0.62x + 19.8$  ( $r = -0.95^{**}$ )、および  $y = -0.44x + 9.8$  ( $r = -0.94^{**}$ )であった。すべての試験片において、耐候処理の進行にともない、 $\Delta E^*$  が低下するのは、前述のとおりである。耐候処理サイクルが短時間の場合は、重量増加率が 4% 以上程度の混合無水物処理材はアセチル化木材よりもやや高い耐候性を示したが、耐候処理サイクルが長くなるにつれ、材色変化はアセチル化木材と同等になった。すなわち、耐候処理の初期段階では、混合無水物処理を行うことにより材色変化を遅らせることが可能であるが、時間とともに、その効果は小さくなることを示している。

### 3.3 混合無水物処理の常温気相法の可能性

本処理をより緩和にし、簡便に行うには、常温気相法が挙げられる。気相法で行うことにより、過剰な薬剤が材内に残留するのを防ぐことができ、また、常温で行うことにより、外部からのエネル

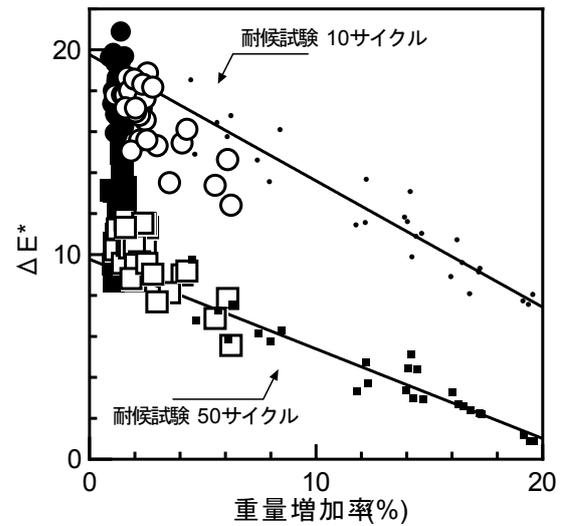


図 4. 耐候試験による処理材の  $\Delta E^*$  と重量増加率の関係

●：無水酢酸-オレイン酸処理 (1:2) 耐候試験 10 サイクル、○：無水酢酸-オレイン酸処理 (1:1) 耐候試験 10 サイクル、●：アセチル化処理耐候試験 10 サイクル、■：無水酢酸-オレイン酸処理 (1:2) 耐候試験 50 サイクル、□：無水酢酸-オレイン酸処理 (1:1) 耐候試験 50 サイクル、■：アセチル化処理耐候試験 50 サイクル、回帰直線はアセチル化処理 (●および■) から求められたものである。

ギー供給が不要であるだけでなく、特別な加熱装置なども不要である。

そこで、密閉容器下部に無水酢酸-オレイン酸混合溶液 (混合モル比 1:1) を入れ、ヒノキ材を上部に静置し、室温にて 14 日間静置した後、重量増加率を測定した結果、触媒 (10%酢酸ナトリウム) を用いた場合、および無触媒の場合、それぞれ、 $7.56 \pm 0.24\%$ 、および  $3.30 \pm 1.25\%$  であった。常温気相法は処理時間を要するものの、耐候性が出現する重量増加率 4% 程度への処理が可能であることから、簡便に処理を進行させることができ有効であると考えられる

## 4. まとめ

無水酢酸とオレイン酸の混合モル比が 1:1 の場合は、処理温度および処理時間の増加とともに重量増加率は上昇したが、混合モル比が 1:2 以上では処理条件にともなう重量増加率に有意な差はみられなかった。降雨ありの耐候試験の場合、すべての試験片において、 $\Delta E^*$  は耐候試験初期で上昇した

後低下し、その後、再び上昇した。これは、耐候試験初期では黄変が生じるものの、その後、白化が引き起こされるためであると考えられた。重量増加率が4%程度以上であれば、降雨ありの耐候試験初期ではアセチル化木材よりも高耐候性を示した。

#### 文献

- 1) Hon D.N.S, Minemura N: “Wood and cellulosic chemistry. second edition, revised and expanded”, D.N.S. Hon, N. Shiraishi 編, Mercel Dekker, New York, 2001, pp.385-442.
- 2) 辻本吉寛、今村祐嗣：木材学会誌 **52**, 145-152 (2006)
- 3) 辻本吉寛、今村祐嗣：木材学会誌 **53**, 141-148 (2007)
- 4) 辻本吉寛、今村祐嗣：木材学会誌 **55**, 45-50 (2009)
- 5) 矢田茂樹、田村健：木材学会誌 **41**, 1035-1042 (1995).
- 6) Sandberg D.: *Holzforschung* **53**, 355-364 (1999).
- 7) Popper R., Bariska M.: *Holz Roh Werkst* **33**, 415-419 (1975).
- 8) Hill C.A.S., Jones D.: *Holzforschung* **50**, 457-462 (1996).
- 9) Li J.Z., Furuno T., Katoh S., Uehara T.: *J Wood Sci* **46**, 215-221 (2000).
- 10) Ota M., Abe K., Sekiguchi T.: *Mokuzai Gakkaishi* **42**, 216-221 (1996).
- 11) Ota M., Ogata H., Jono Y., Hirota K., Abe K.: *Mokuzai Gakkaishi* **43**, 785-791 (1997).
- 12) Ohkoshi M.: *J Wood Sci* **48**, 394-401 (2002).
- 13) Peydecastaing J: 学位論文 “Chemical modification of wood by mixed anhydrides.” トウルーズ大学 (2008).
- 14) Peydecastaing J., Vaca-Garcia C., Borredon E., El Kasm S.: *Cellulose* **16**, 289-297 (2009).
- 15) 三井勝也、Dupuy J.岐阜県生活技術研究所研究報告 **13**, 27-30 (2011).

# 木材の曲げ成型加工における不良現象の低減化に関する研究

石原智佳、長谷川良一

## Study on decreasing defect phenomena in the bending forming of wood

Chika ISHIHARA, Ryoichi HASEGAWA

飛騨家具には昔から匠の技である「曲げ木」が特徴的に取り入れられてきた。家具用部材の曲げ成型加工に適した樹種として良質なブナやナラが多用されてきた。しかし近年の材料不足やデザインの多様化を背景に、外国産材であるレッドオークやチェリー、ウォールナット等も用いられるようになった。その結果、ブナやナラでは見られなかった「不良現象」が課題となってきた。不良現象として、曲げ側に出るシワや座屈などが挙げられる。また、幅はぎ接着した集成材も背板・座板・肘等の部材として曲げ加工されて使われているが、接着層での目切れも課題となっている。

本研究では、これらの不良現象を低減化するための検討を行った。その結果下記のことが明らかになった。1) レッドオークの曲げでは浅いシワが頻発し、チェリーとウォールナットでは木目や節のせいでねじれや座屈が多く生じた。曲げ半径が大きい部材には利用できるが、それ以外には不向きであることから、さらなる検討を要する。2) 樹種や材密度により水分吸湿量に差があり、曲げ加工前の処理として浸水の有効性が認められた。3) 幅はぎ接着した板に関しては、接着後の養生環境やその期間を適切に管理する必要性が認められた。

### 1. 緒言

飛騨高山の家具の特徴のひとつに、曲げ成型加工がある。背板・座板・肘部・脚部等に曲げ木が取り入れられている。曲げ木は蒸して軟らかくなった材を型にはめて曲げ、乾燥することで変形を固定する工程から成る。曲げ木に適した樹種として、国産のブナやナラが古くから多用されてきたが、近年では材料不足やデザインの多様化を背景に、レッドオーク・チェリー・ウォールナットなどの外国産材も用いられるようになってきている。しかし曲げ加工工程において、ブナ・ナラでは見られなかったシワや割れ（図1）、座屈等の頻発が課題となっている。そこで本研究では、曲げ木に用いられている樹種の曲げ特性等を把握し、不良現象を低減化するための検討を行った。

また、幅はぎ接着により一枚板となった材料の曲げ加工においては、接着層での切れが課題となっており、これについても検討を行った。

### 2. 曲げ木への適応性

#### 2.1 曲げ木加工の検討

曲げ木に適しているとして用いられてきた樹種（ブナ）と近年用いられるようになってきた樹種

（レッドオーク・チェリー・ウォールナット）との間に、曲げ加工における違いがあるのかどうかをトーネット法（曲げ加工は圧縮応力のみで行うのが望ましいため、木材の引張側に帯鉄を当てて一体化し、木型に沿って曲げる方法）にて検討した（図2）。

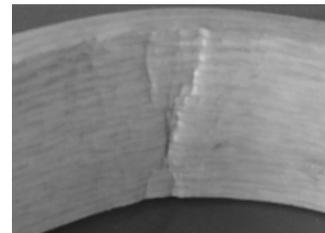


図1 曲げ木の圧縮側に出たシワ・割れ

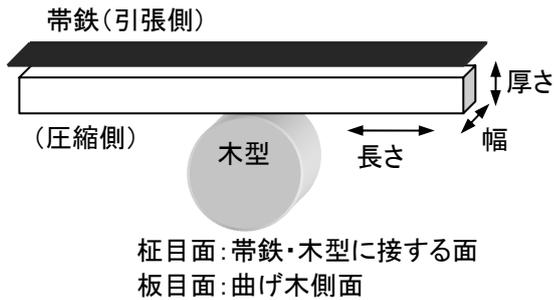


図 2 トーネット法による曲げ木

材の条件は次のとおりである。長さ 600mm、幅 30mm、厚さは実際の家具部材で用いられている 10・20・30mm とした。前処理として一晩水に浸けておき、厚さ 10 及び 20mm の材は 1 時間蒸した直後、また厚さ 30mm の材は 2 時間蒸した直後に曲げた。なお、材は密閉容器内に入れ、沸騰水の蒸気 (98℃) で蒸した。

曲げ木の検討条件は、材の厚さと曲げ半径を各種組み合わせさせた (表 1)。

結果を表 2-1 から表 2-4 に示す。なお、曲げ時の含水率及び全乾密度は変形固定後に 105℃ で 24 時間乾燥した全乾重量から求めた。

表 1 曲げ木加工の検討条件

条件	厚さ(s) mm	曲げ半径(圧縮側)(r) mm	s/r
①	10	60	0.17
②	10	150	0.07
③	10	350	0.03
④	20	60	0.33
⑤	20	150	0.13
⑥	20	350	0.06
⑦	30	150	0.20
⑧	30	350	0.09

表 2-1 曲げ木の結果 (ブナ)

条件	見た目	全乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	曲げ時の 含水率(%)
①	良好	0.57	49
②	良好	0.55	41
③	良好	0.57	46
④	—	—	—
⑤	良好	0.58	34
⑥	良好	0.58	37
⑦	良好	0.58	44
⑧	良好	0.58	37

表 2-2 曲げ木の結果 (レッドオーク)

条件	見た目	全乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	曲げ時の 含水率(%)
①	—	—	—
②	—	—	—
③	—	—	—
④	ややシワ	0.65	13
⑤	ややシワ	0.72	23
⑥	良好	0.68	21
⑦	ややシワ ねじれ	0.65	21
⑧	良好	0.62	20

表 2-3 曲げ木の結果 (チェリー)

条件	見た目	全乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	曲げ時の 含水率(%)
①	引側: 割裂 圧側: 良好	0.46	34
②	良好	0.45	28
③	良好	0.45	30
④	支点で座屈	0.46	27
⑤	シワ 節で座屈	0.45	23
⑥	良好	0.45	24
⑦	支点で座屈 深いシワ	0.47	22
⑧	良好	0.48	21

表 2-4 曲げ木の結果 (ウォールナット)

条件	見た目	全乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	曲げ時の 含水率(%)
①	引側: 割裂 圧側: 良好	0.61	24
②	良好	0.62	22
③	良好	0.61	24
④	ややシワ ややシワ	0.63 0.57	23 30
⑤	良好 ややシワ	0.61 0.57	16 29
⑥	良好 良好	0.61 0.56	18 29
⑦	シワ ややシワ	0.64 0.57	14 28
⑧	良好 節で座屈	0.64 0.57	16 28

浸水処理及び蒸し時間は、厚さ別にした以外はほとんど同じであったが、樹種により曲げ時の含水率が異なり、特にブナで高かった。また、ウォールナットの条件④～⑧における吸湿性では密度による差が見られた。吸湿量に関しては次項(2.2)で見る。

ブナはいずれの条件でもきれいな曲面に仕上がった。レッドオークでは曲げ半径 350mm の場合(⑥・⑧)は良好だったが、それ以外では小さなシワ・ねじれが目立った。チェリーでは薄い材でも曲げ半径が 60mm (①)にまで小さくなると引張側で木目に沿って割裂した。また、曲げの支点となる長さ方向の中心部や節様の木目部位において座屈が生じやすく、曲げ半径が大きい場合以外には曲げ木に不向きであることがうかがえた。ウォールナットでは浅いシワが頻発した。

チェリーとウォールナットでは共通して、木目や節が影響してねじれや座屈が生じることから、木取りの重要さがあらわれた結果である。したがって、大きな曲げ半径の部材ならば利用可能であるが、それ以外では不良品になる割合が高すぎると考えられる。これらの不良品となった条件に対しては、曲げ時の含水率や曲げ速度等の観点から更なる検討を要する。

実際のレッドオークの家具用部材で不良品とされるものを観察したところ、 $s/r$  が 0.14、0.17 等で圧縮側のシワが多く見られた。

## 2.2 吸湿量

曲げ加工時までの浸水及び蒸し時間は厚さごとにほぼそろえたが、樹種間で含水率にばらつきがある(表2-1～2-4)。そこで、蒸し時間に伴う含水率変化を測定した。材料の長さは60mm(繊維方向)、幅・厚さはともに30mmとした。ステンレス製の蒸し器で材を蒸し、一定時間ごとに重量を測定した。測定終了後、105℃で24時間乾燥させた状態を全乾とし、含水率計算を行った。2時間での吸湿量を含含水率増加量( $\Delta MC$ )とし、全乾密度に対して図示した(図3)。なお、初期含水率は約7%であった。

樹種別に見ると、全乾密度が小さいほど含水率増加量が多い傾向がみられる。また、レッドオークとウォールナットでは、密度によっては吸湿しにくい場合もみられた。曲げ加工時の含水率として17%くらいは必要なため、これらの樹種では蒸す前の処理としての浸水は効果的であることがわかる。

レッドオークでは曲げ加工後の「ふくれによる厚みの増加、ばらつき」が課題となっているが、他樹種と比べても吸湿性に大差はない。組織構造

として、道管の直径が他樹種よりも著しく大きいことが見た目でも明らかであり、大きな原因とも考えられ、この点は今後検討する。

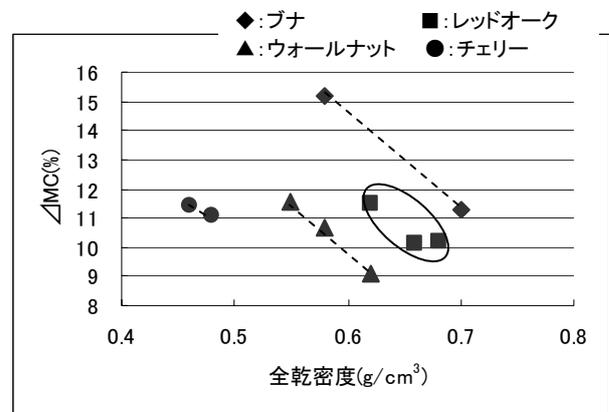


図3 樹種別に見た吸湿量

## 2.3 縦圧縮強さと曲げ特性について

既往の報告<sup>1)2)</sup>において、「蒸煮試験片の縦圧縮破壊ひずみから曲げ半径の限界を求め、プレス曲げ加工実験で確認した結果、両者がほぼ一致し、曲げ木適正樹種の選定に有効的な方法である」とされている。なお、曲げ限界については、引張側の伸びを無視して、次式(①)により算定されている。

$$\frac{s}{r} = \frac{-\varepsilon_c}{1 + \varepsilon_c} \quad \text{①}$$

$s$ : 厚さ  $r$ : 曲げ半径  $\varepsilon_c$ : 圧縮ひずみ

表1に曲げ木加工の条件として、 $s/r$  を記載しているが、ここで  $s/r$  別のトーネット法による曲げ木結果と、縦圧縮破壊試験での破壊時の圧縮ひずみを上式①に当てはめて算出した  $s/r$  値を比較検討する(表3)。なお、縦圧縮破壊試験はJIS Z 2101「木材の試験方法」に準拠し、試験体[30×30×60(繊維方向)mm]をステンレス製の蒸し器で30分蒸した直後に行った。荷重速度は8mm/minとした。

レッドオークとチェリーの破壊試験においては、破壊荷重に至るまでに横圧縮変形に移行し変形し続ける傾向が見られ、明確な縦圧縮破壊ひずみを測定することが困難であった。その結果、トーネット法では曲げ不良となる  $s/r$  値を超えた値が計算上では算出されたと考えられる。したがって、樹種によっては①式から曲げ木への適合性を判断することはできないため、他の指標となるものの検討が今後の課題である。

表3 s/r値と曲げ性の比較

s/r	ブナ	レッド オーク	チェリー	ウォール ナット
0.03	○	—	○	○
0.06	○	○	○	○
0.07	○	—	○	○
0.09	○	○	○	△
0.13	○	△	×	△
0.17	○	—	×	×
0.20	○	×	×	△
0.33	—	△	×	×
$\epsilon c$ →s/r	0.24	0.46	0.23	0.20

○:良好 △:ややシワ  
×:割れ・座屈・深いシワ

### 3. 幅はぎ接着板の曲げ加工

#### 3.1 現状と課題

レッドオークの長さ約50cm(繊維方向)、厚み約3cmの板を5~6枚幅はぎ接着した板(幅約45cm)を繊維方向に平行にプレス機で曲げ加工(曲げ半径1200mm)してできた座板において、接着層で割裂が生じる不良が頻発している。そこで、改善のための検討を行った。

現状の工程は、(1)幅はぎ接着(接着剤:鹿印ピーアイボンド6000両面塗布)、(2)養生室にて約1週間保管、(3)密閉した蒸し器の中(約80℃)で25分間蒸し、(4)型にはめて曲げ、(5)50分間高周波乾燥を行い、(6)型からはずした状態で1週間養生する、という流れである。

#### 3.2 検討項目1: 養生条件

養生室の温度状態を調査した(図4:5月、図5:11月)。夜間の温度は20℃付近にまで低下し、週末は20℃以下が続くことがわかった。年間を通しては、さらに低温であることが予想される。使用接着剤は水性高分子-イソシアネート系であり、低温ほど最終接着強度に至るまでに時間を要するため、温度に応じた養生日数を設定する必要がある。

#### 3.3 検討項目2: 養生期間

レッドオークを5枚幅はぎ接着した板(繊維方向約50cm×幅約45cm)において、各接着層の接着強さと養生期間(3日・7日・17日)の関係性を調べた。なお、養生温度は22℃とした。接着強さはJIS K 6852の「接着剤の圧縮せん断接着強さ試験方法」に準拠して行った。

接着した板それぞれにI~Vまで番号を付け、各層での値を図6に示す。7日経過した後はやや強く

なるかほぼ変わらない結果となったことから、約20℃では少なくとも1週間の養生が望ましいと考えられる。季節によっては20℃以下になる養生室ではさらに長めの期間が必要である。

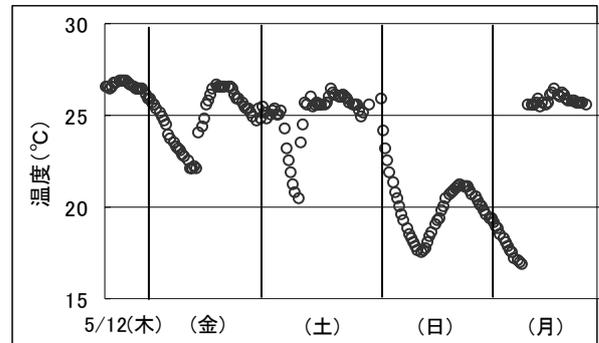


図4 養生室の温度変化(5月)

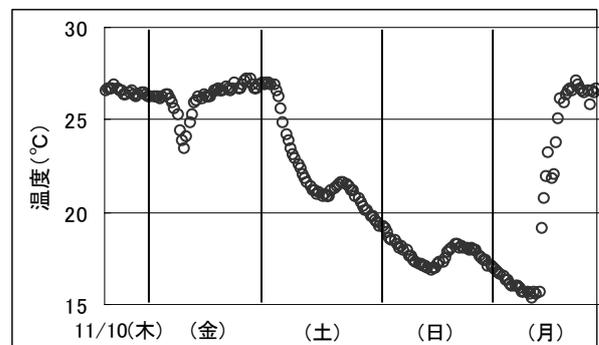


図5 養生室の温度変化(11月)

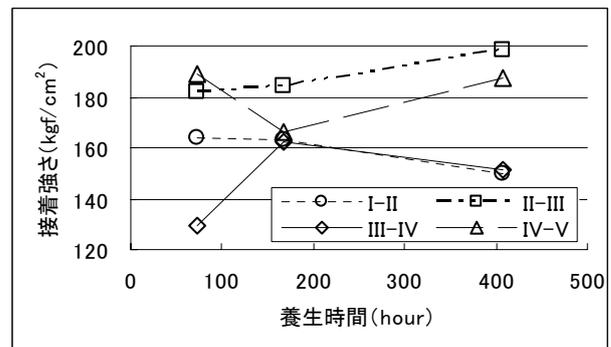
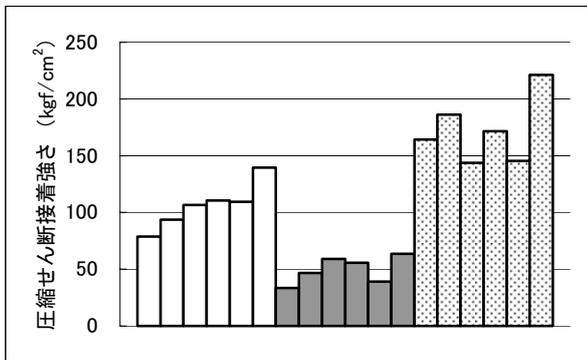


図6 養生時間ともなう接着強さの変化

#### 3.4 検討項目3: 接着剤

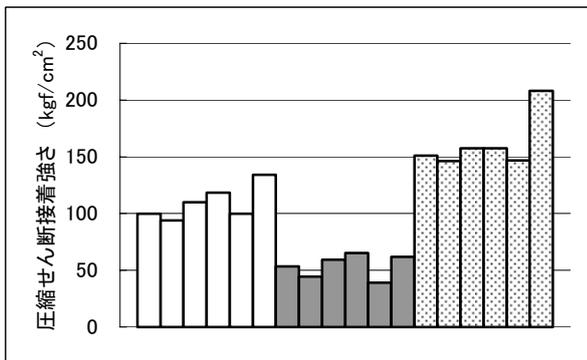
同じ水性高分子-イソシアネート系のもので難接着樹種に適するとされる2種類の接着剤の効果を試験した。一つ目の鹿印ピーアイボンド5300は、構造用・造作用集成材の積層接着に適しているとされ、特に高比重な広葉樹材で安定した性能が得られるとされている。二つ目の鹿印ピーアイボンド5340は、針葉樹構造用集成材の幅はぎ、積層接

着向けとされている。これらの接着剤でレッドオークを接着し、2週間の養生後にJIS K 6852に準拠して接着強さを測定した。試験は、耐水試験、煮沸繰返し試験、常態試験を行った。また、レッドオークは全乾密度別の3種類（以後、R1:0.63g/cm<sup>3</sup>、R2:0.68g/cm<sup>3</sup>、R3:0.71g/cm<sup>3</sup>）で比較した。ボンド5300の結果を図7に、同5340の結果を図8に示す。多くの条件において、柁目面接着よりも板目面接着のほうが接着強さは高い傾向にあった。また、密度に関しては大差ないが、一部で高密度な材で高い強さを示した。また、図6の結果と常態試験の板目接着の結果が条件で一致するが、ボンド5300が示す強さのほうがやや高いか同じくらいと見られる。実際に座板製造の際にこれらの接着剤を使用したところ、接着層での目切れ頻度が減少してきた傾向にあり、接着剤別の効果についても今後検討を続けたい。



□：耐水 ■：煮沸繰返し ◻：常態  
各試験項目の棒グラフ  
左からR1：柁目面接着、板目面接着、R2：同、R3：同

図7 ピーアイボンド5300の接着強さ



□：耐水 ■：煮沸繰返し ◻：常態  
各試験項目の棒グラフ  
左からR1：柁目面接着、板目面接着、R2：同、R3：同

図8 ピーアイボンド5340の接着強さ

#### 4. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- 1) 近年新に曲げ木用樹種の加工性を実験評価した結果、レッドオークは大きな曲げ半径では良好な曲面が得られたが、小半径になるとシワが出やすい。チェリーとウォールナットでは木目の流れや節の影響を受けやすく、ねじれや座屈が頻発した。
- 2) レッドオークに関しては、曲げ加工後の厚みのばらつきや、ふくらみが問題となっている。吸湿性は他樹種と大差ないが、道管組織が他樹種よりも著しく大きいことが一要因とも考えられる。
- 3) 幅はぎ接着した板の曲げ加工に際して、接着層に出る目切れが問題となっているが、接着後の養生温度やその期間が接着強さに大きく影響するため、適切な管理が望まれる。また、樹種に合った接着剤の再検討も必要である。

#### 謝辞

試験材の提供や製造工程の見学等、研究にご協力いただいた企業の皆様に感謝いたします。

接着剤を提供していただきました（株）オーシカ様に感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) 田中重盛 南方材の曲げ加工に関する研究（第1報）岐阜県工芸試験場業務報告，pp. 18-22，1975.
- 2) 田中重盛 南方材の曲げ加工に関する研究（第2報）岐阜県工芸試験場業務報告，pp. 16-21，1976.

# 木質住環境が人体に与える影響に関する研究（第2報） 木質空間における香気成分の影響

伊藤国億、藤巻吾朗

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

Kuniyasu ITO, Goroh FUJIMAKI

先に実験で使用した木質空間の臭気をにおい袋に採取し、におい袋中の臭気が人に与える影響を主観的に評価した。その結果、臭気強度と快不快度( $r=0.43$ )に相関関係が認められ、 $\alpha$ -ピネンを主成分とする臭気の強さが快適感を向上させる傾向があった。しかし、 $\alpha$ -ピネン濃度が高いほど快不快度の評価のばらつきが大きい傾向がみられた。今回の実験で調整した臭気では被験者は $\alpha$ -ピネンの香りの強さを感じ、 $\alpha$ -ピネンの香りの強さが大きいほどその香りに対する好みの差も大きくなる傾向があると考えられた。

### 1. 緒言

近年、木質空間の居住性に関する研究<sup>1-3)</sup>において、木質空間が人に与える心理的、生理的影響が検証されている。これらの研究では空間を構成する木材の香りや木目模様、肌触りなど木材に固有な刺激が人に影響を与えていることは明白であるが、どのような刺激がより影響を与えるのか特定されてはいない。

我々は木材の香りの強さが木質空間の印象にどのような影響を与えるのか検証した<sup>4)</sup>。実験室の $\alpha$ -ピネン濃度を人為的に拡散・調整し、被験者に各部屋の印象評価をSD法により行ったところ、『香りのよさ』の因子と『嗜好性』の因子に相関関係が認められなかったものの、 $\alpha$ -ピネン濃度がより高い部屋が好まれた。木質空間では嗅覚刺激と視覚刺激を同時に受けており、これらの刺激の度合いは分からなかったものの、木材の香りは少なからず部屋の印象に影響を与えていると思われた。そこで、本実験は先に実験で使用した木質空間の臭気をにおい袋に採取し、その臭気が人に与える影響を評価することとした。

### 2. 実験方法

#### 2.1 木質空間の臭気の捕集

本所に設置されている木質空間は 3040mm(W) × 3620mm(L) × 2440mm(H)、床面積は約 11m<sup>2</sup>の実居住

空間実験室((株)稲葉製作所製 SMK-110H)である。実験室内装は室内表面積の木材占有率が 45%であり、木部の香り成分を抑制するために木部用ウレタンを塗装した仕様である。実験室はよく換気したのち、室内環境が温度 20±1℃、湿度 50±5%RH に安定するまで 1 時間締め切った。締め切った後、フレックスポンプを用いた直接採取法によりにおい袋(3L)に室内の臭気を採取した。なお、 $\alpha$ -ピネンを拡散・調整した実験室においても同様に臭気を採取した。

#### 2.2 臭気分析

臭気を捕集したにおい袋はタイゴンチューブを用いて TenaxTA 捕集管に接続した。これに捕集ポンプを接続し、流量 100ml/min で 0.5L を捕集管へ捕集した。分析は村田らの報告<sup>5)</sup>と同様に加熱脱着-GC/MS 法を用い、捕集臭気の $\alpha$ -ピネン濃度および総揮発性有機化合物(TVOC)濃度を測定した。

#### 2.3 におい袋の臭気調査

におい袋における TVOC のバックグラウンドはユニット型温湿度供給装置(ESPEC 製 ASE-110、活性炭フィルター、HEPA フィルター)により精製された空気を用いることとした。バックグラウンドとしての TVOC 濃度は概ね 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  以下であった。そこで、この精製された空気を対象臭気とした。

また、実験室内の臭気とおい袋に採取した臭気を分析した結果を図 1 に示す。室内の $\alpha$ -ピネン

濃度に比べ、におい袋の $\alpha$ -ピネン濃度は5~8割程度に低下した。におい袋のTVOC濃度は $\alpha$ -ピネンと同様に低下した(TVOCの低減比はエラーバーで図示)。これらのことから、臭気採取から分析までの過程で他の臭気の混入はなかったと思われるが、におい袋で濃度が低下したことについては、通常、直接採取法ではフレックスポンプにより10Lなど採取量を多くとるが、今回の実験の採取量は3Lと少なかったことから、その採取量の影響により低減したとも考えられる。しかし、におい袋およびシリコン栓へのにおい吸着なども考えられ、その原因は明らかにできなかった。

また、主観評価時ではにおい袋の臭気の変化(臭気量の低減、成分比の変化)がないことが必要であるため、臭気の経時変化を調査した(図2)。 $\alpha$ -ピネンはその採取濃度に関係なく経過時間による濃度変化はなかった。なお、TVOC濃度も同様に変化はなかった(図示なし)。

本実験では先の実験で使用した木質空間の臭気人が人に与える影響を評価するため、におい袋中の臭気濃度を木質空間の臭気濃度と同程度になるように臭気の調整を行った。また、その調整は被験者に評価してもらう1~3時間前に行った。各調整臭気における $\alpha$ -ピネン濃度およびTVOC濃度を図3に示す。 $\alpha$ -ピネン濃度が高い条件の室内臭気を採取したにおい袋Aは2900~3400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $\alpha$ -ピネン濃度が低い条件の室内臭気を採取したにおい袋Bは700~900 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $\alpha$ -ピネンを放散していない室内臭気を採取したにおい袋Cは10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下であった。なお、におい袋AのTVOCに占める $\alpha$ -ピネンの濃度相対比は0.91、におい袋BのTVOCに占める $\alpha$ -ピネンの濃度相対比は0.74と高かった。一方で、におい袋Cでは検出されなかった $\beta$ -ピネンおよびリモネンがにおい袋Aおよびにおい袋BのTVOC中にそれぞれ200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度検出されたことから、人為的に $\alpha$ -ピネン濃度を調整するために放散した $\alpha$ -ピネン試薬に、リモネンなどが含有しており、 $\alpha$ -ピネンと同様にこれらの夾雑成分が室内に拡散し検出された。

#### 2.4 主観評価

被験者は先の実験に協力してもらった12名のうち、今回の実験協力を承諾が得られた30歳代~40歳代の9名(男性6名、女性3名)で行い、恒温恒湿試験室にてにおいの評価を行った。におい評価は人の嗅覚によるにおいの強さや快・不快度を表現する官能試験がよく用いられることから、6段階臭気強度表示法および9段階快不快度表示法で行

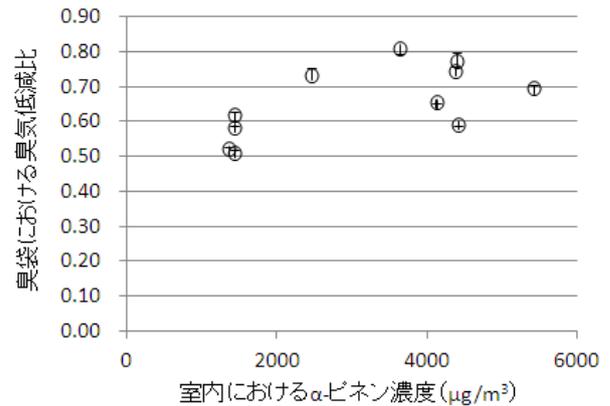


図1 採取手段による臭気の高減化

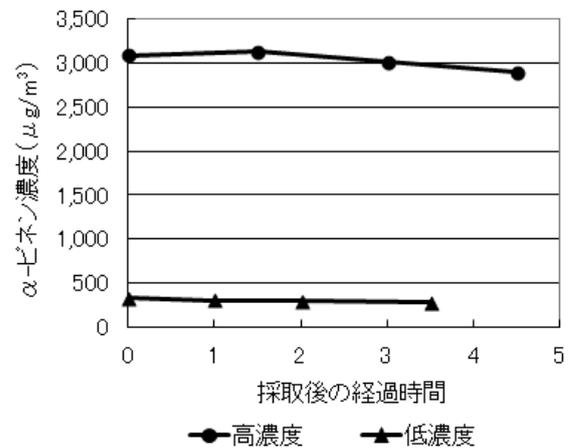


図2 におい袋における $\alpha$ -ピネン濃度の経時変化

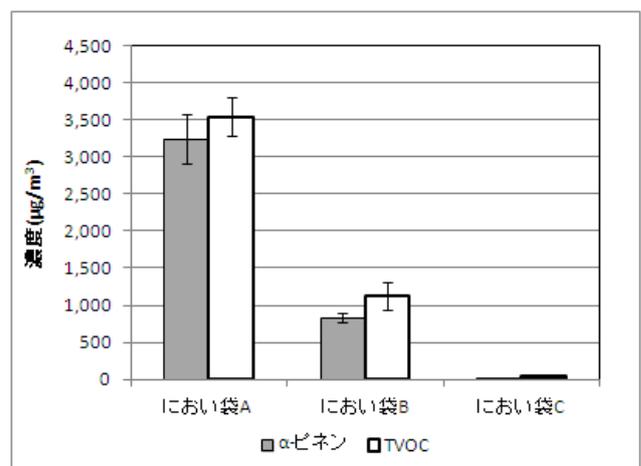


図3 各におい袋の $\alpha$ -ピネンおよびTVOC濃度

った(表 1)。におい袋中の臭気について評価前に被験者に実居住空間実験室の空気を採取した臭気であることを伝えた。なお、恒温恒湿試験室に入室して椅子に着座姿勢で 5 分間安静にしてもらった後、対象臭気および採取した臭気 1 つをそれぞれ嗅ぎ、においを感じた方のにおい袋の臭気について回答してもらった。各調整臭気の嗅ぎ順は被験者ごとにランダムとし、評価ごとに適宜間隔を開けて実施した。また、対象臭気をにおいを感じた臭気として回答した被験者 2 名は評価から除くこととした。

表 1 おい袋の評価尺度

6 段階臭気強度表示法		9 段階快不快度表示法	
無臭	0	極端に不快	-4
やっと感知できるにおい	1	非常に不快	-3
弱いにおい	2	不快	-2
楽に感知できるにおい	3	やや不快	-1
強いにおい	4	快でも不快でもない	0
強烈なにおい	5	やや快	1
		快	2
		非常に快	3
		極端に快	4

### 3. 結果と考察

におい評価で回答された評価点を被験者ごとに以下の式のとおり標準化した。

$$\text{標準化} = (\text{評点} - \text{個人評点平均}) / \text{個人内標準偏差}$$

臭気強度と快不快度の相関図を図4に示す。臭気強度と快不快度( $r=0.43$ )に相関関係が認められた。このことから  $\alpha$ -ピネンを主成分とする臭気の強さが快適感を向上させる傾向が示唆された。

におい袋を要因とした一元配置の分散分析を行った結果、快不快度に有意差はなかったが、におい袋中の  $\alpha$ -ピネン濃度が高いほど評価のばらつきが大きい傾向がみられた(図5)。一方、臭気強度に主効果がみられ、におい袋Aとにおい袋Cに有意差( $p<0.01$ )がみられ、におい袋Bとにおい袋Cに有意な傾向( $p<0.1$ )がみられた(図6)。これらことから、今回の実験で調整した臭気では被験者は  $\alpha$ -ピネンの香りの強さを感じ、 $\alpha$ -ピネンの香りの強さが大きいほどその香りに対する好みの差も大きくなる傾向があると考えられた。

先の実験ではB室よりも  $\alpha$ -ピネン濃度が高いA室が好まれたが、におい袋によるにおい評価では

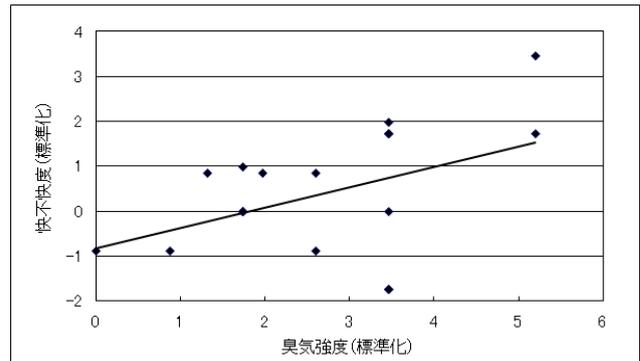


図 4 臭気強度と快不快度との相関図

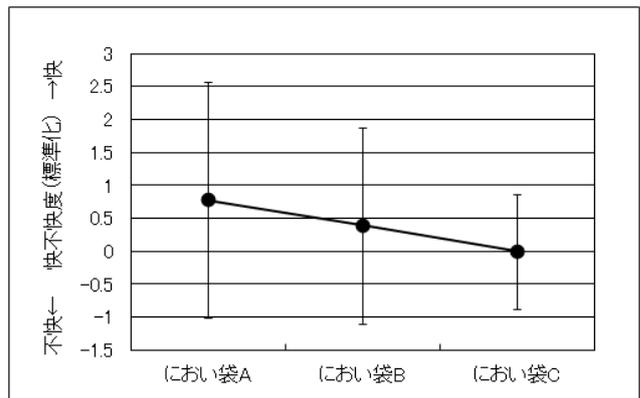


図 5 各におい袋の快不快度

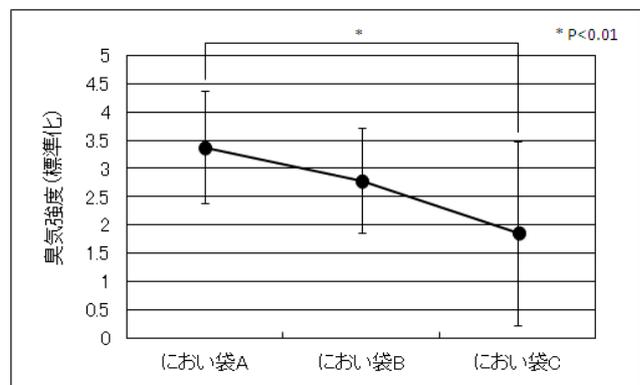


図 6 各におい袋の臭気強度

においの好みに差はなかった。つまり、これまでの実験では木質空間の印象は嗅覚刺激だけで影響を与えられるものではなく、嗅覚刺激に視覚刺激を含めた複合刺激により評価されたと考えられる。

### 4. まとめ

におい袋による評価において、臭気強度と快不快度( $r=0.43$ )に相関関係が認められ、 $\alpha$ -ピネンを主成分とする臭気の強さが快適感を向上させる傾向

があった。また、におい袋中の $\alpha$ -ピネン濃度が高いほど快不快度の評価のばらつきが大きい傾向がみられた。今回の実験で調整した臭気では被験者は $\alpha$ -ピネンの香りの強さを感じ、 $\alpha$ -ピネンの香りの強さが大きいほどその香りに対する好みの差も大きくなる傾向があると考えられた。

これまでの実験では木質空間の印象は嗅覚刺激だけで影響を与えられるものではなく、嗅覚刺激に視覚刺激を含めた複合刺激により評価されたと考えられる。

#### 文献

- 1) 齋藤ゆみら：木材学会誌, Vol.55, No. 2, pp.101-107, 2009.
- 2) 木村彰孝ら：木材学会誌, Vol.57, No.3, pp.150-159, 2011
- 3) 北村 健ら：木材工業, Vol.67, No.2, pp.61-64, 2012.
- 4) 伊藤国億ら：岐阜県生活技術研究所研究報告, No.13, pp.36-39, 2011.
- 5) 村田明宏ら：岐阜県生活技術研究所研究報告, No.7, pp.42-45, 2005.

# 座位姿勢における人体形状測定システムの開発

藤巻吾朗、石郷祐介、成瀬哲哉、宮川成門、窪田直樹

## Development of Shape Measuring System for Human Body in Sitting Posture

Goroh FUJIMAKI, Yusuke ISHIGO, Tetsuya NARUSE, Naruto MIYAGAWA, Naoki KUBOTA

座位姿勢での人体形状を記録する測定システムを試作した。Kinect センサの導入により、従来の三次元形状測定装置と比較して安価であり、従来測定ができなかった座位姿勢での臀部およびその周辺の形状が測定可能となったが、従来装置と比較し、測定精度が劣っていた。着座時の人体形状の測定条件として、外力の影響が小さい空気イスが考えられたが、被験者への負担、筋緊張による姿勢や形状への影響、転倒の危険性等を考慮し、座面に張った伸縮性の高い素材に着座してもらい、その裏面から形状の測定する方法を選択し、座面張生地を選定を行った。測定システムの開発により、計測者間の測定誤差が小さく、被験者への負担を抑え、短時間での測定が可能となった。今後の課題として、測定精度の向上やデータ処理の効率化、形状のモデル化に必要な身体の特徴点の選定と抽出方法の検討が挙げられた。

### 1. 緒言

椅子やシートの形状を身体に適合させることは、座位保持や身体負担の軽減、快適性の向上などにつながるが先行研究で示唆されている<sup>1)~4)</sup>。座位姿勢での人体形状（以下、座位形状）の測定は、特殊な装置による手作業での形状合わせを行い、石膏での型どりの後、三次元形状測定装置でデータを取り込む手法やスライディングゲージで直接測定する手法があるが<sup>5)6)</sup>、いずれの手法も計測に時間がかかり、測定者による誤差や被験者への負担が大きい。被験者への負担が小さく、短時間で測定が可能な手法として人体を非接触式の三次元形状計測装置で直接測定するものがあるが<sup>7)8)</sup>、現状では、底面からの測定が可能な装置はなく、座位姿勢で臀部周辺の形状は記録できない。また、座位形状の測定は、個人用の椅子（クッション）製作のために使用されることが多く、測定手法が改善されていないため、データとして蓄積された事例が少ない。

本研究では、被験者への負担が小さく、計測者による差の小さい、短時間で測定可能な座位形状測定システムを開発することを目的とする。これにより、従来データ取得が困難であった座位形状のデータ蓄積や座位形状のモデル化を行い、形状分布や体格・性別差等の分析を行うことで、製品開発への応用を目指す。

### 2. 座位形状測定システムの概要

三次元形状が測定可能な光学式のセンサである Kinect センサ（Microsoft 製）2 台をそれぞれ図 1 のように設置し、測定用椅子に着座した際の人体の三次元形状を記録するシステムを開発した。

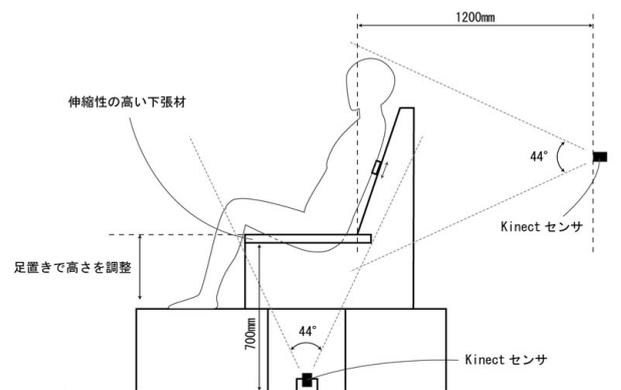


図1 測定システムの概要図

### 3. Kinectセンサの補正と精度確認

#### 3.1 補正前の測定結果と補正方法について

白色の平らな壁面を700mmから1200mmの距離で100mm刻みに測定し、理論値からの誤差を計算した。その結果、700mmの距離で最も精度が高かったが、センサ本体からみて左右方向に歪みが確認された（図2）。600mm以下では欠損値が増加する傾向があり、800mm以上では、距離が増すにつれて誤差およ

び左右方向の歪みが増加する傾向がみられた。

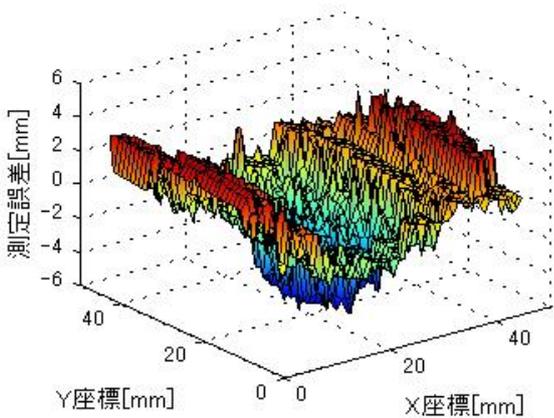


図 2 測定結果の一例（距離 700mm）

### 3.2 補正フィルタについて

開発した測定システムは、センサから測定対象の距離がほぼ固定される。臀部形状については、700～800mm、背面形状については、特に骨盤部・腰部の形状を重視するため、1000～1200mmでの精度を向上させるフィルタを検討した。

底面センサについては距離700mmで3回測定した際の誤差平均を減算フィルタとして使用し、さらにノイズカットのため、メディアンフィルタを使用して補正を行った。背面センサについては、距離1200mmでの測定結果をもとに座面センサと同様の補正を行った。

### 3.3 平面形状測定における精度確認

500mm×500mmの平面の板材を底面センサは、700mm、800mm、背面センサは1000mm、1200mmで測定し、補正前および補正後のデータについて理論値からの誤差を計算した。図4に底面センサの距離700～800mmでの誤差の割合、図5に背面センサの距離1000～1200mmでの誤差の割合をヒストグラムとして示す。また、表1に誤差範囲とその範囲に含まれる計測値の割合を示す。

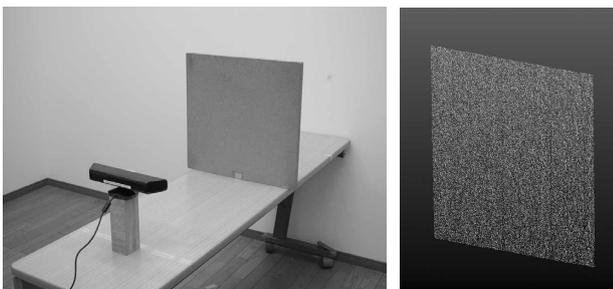


図 3 平面形状の測定風景と測定結果の一例

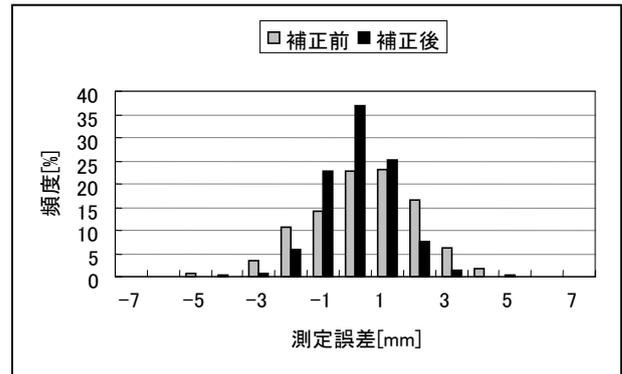


図 4 底面センサの測定誤差（平面形状）

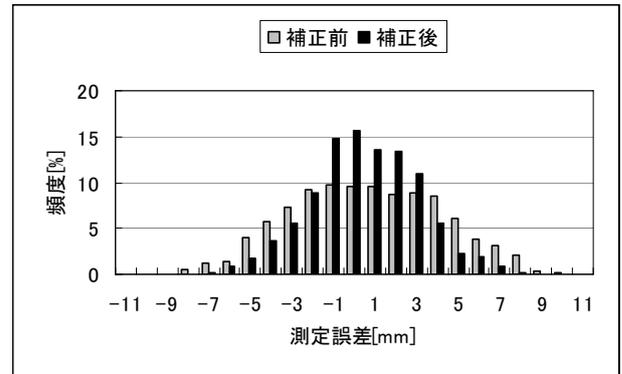


図 5 背面センサの測定誤差（平面形状）

表 1 平面測定における誤差範囲

	底面センサ (距離700～800mm)		背面センサ (距離1000～1200mm)	
	補正前	補正後	補正前	補正後
誤差±1mm以内	60.0%	84.6%	28.9%	44.0%
誤差±2mm以内	87.3%	98.0%	46.7%	66.3%
誤差±3mm以内	96.8%	99.9%	62.7%	82.8%
誤差±4mm以内	99.1%	100.0%	77.1%	92.0%
誤差±5mm以内	100.0%	100.0%	87.0%	96.1%

### 3.4 曲面形状測定における精度確認

φ 300mmの円柱について、3.3と同様に測定を行った。図7に底面センサの距離700～800mmでの誤差の割合、図8に背面センサの距離1000～1200mmでの誤差の割合をヒストグラムとして示す。また、表2に誤差範囲とその範囲に含まれる計測値の割合を示す。

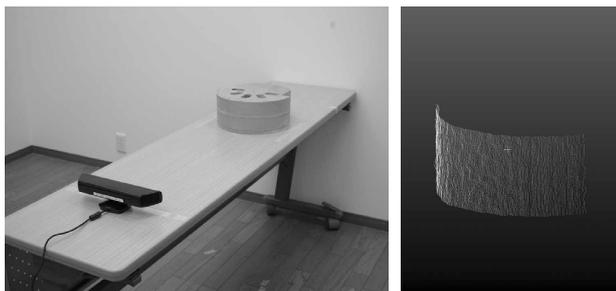


図6 曲面形状の測定風景と測定結果の一例

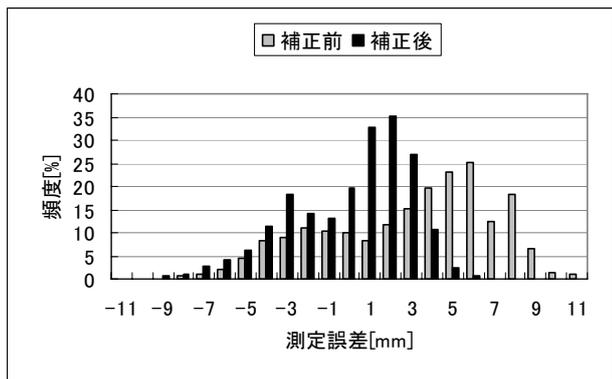


図7 底面センサの測定誤差（曲面形状）

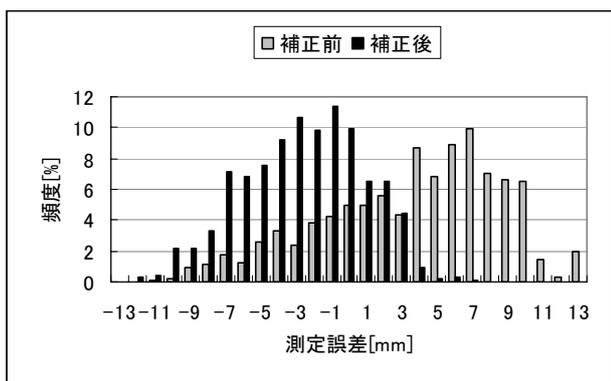


図8 背面センサの測定誤差（曲面形状）

表2 曲面測定における誤差範囲

	底面センサ (距離700~800mm)		背面センサ (距離1000~1200mm)	
	補正前	補正後	補正前	補正後
誤差±1mm以内	14.4%	32.6%	14.2%	27.9%
誤差±2mm以内	25.8%	57.3%	23.6%	44.3%
誤差±3mm以内	37.9%	79.9%	30.3%	59.3%
誤差±4mm以内	51.9%	90.9%	42.2%	69.4%
誤差±5mm以内	65.6%	95.3%	51.7%	77.1%

### 3.5 測定精度に関する考察

補正フィルタの使用により、測定精度が向上したが、背面センサについては誤差が大きく、補正フィルタの再考、もしくは座面センサと同程度の

距離にセンサを設置し、センサ数を追加することで対応する必要があると考えられた。

座面センサについては、平面で誤差2~3mm程度であり、従来の石膏による型どりやスライディングゲージによる測定での人体組織の変形を考慮すると十分な精度であると考えられた。しかし、曲面での測定誤差は6~7mm程度であり、測定対象とKinectセンサとの相対的な角度が影響していると考えられた。この誤差についてはKinectセンサの深度計測方式に依存することが推測され<sup>9)</sup>、曲面形状の測定精度向上のためにはセンサの設置数や設置角度の検討、測定方式の異なるセンサの使用が考えられた。

## 4. 測定用椅子の試作

### 4.1 測定用椅子の概要

背中や腰の形状については、着座時に小さな背あてに寄りかかることで、一部分のデータが欠損するものの、姿勢や外力による変形が小さい部位であるため、形状のモデル化には影響が少ない<sup>10)</sup>。しかし、臀部や大腿部の形状については、坐骨結節部を中心に体重の大部分を支えるため、小さな面積での支持は被験者への負担が大きく、また測定には転倒の危険を伴う。さらには、生体軟部組織の変形が大きい部位であるため外力の影響を極力避ける必要がある。

本研究では、生体軟部組織の変形を抑え、座位姿勢での体重を支えるため、伸縮性の高い椅子の下張り材に着座してもらい、その裏面から形状の測定を行った。

### 4.2 座面張生地の選定

伸縮性の高い素材として、座面の張り材で使用されるメッシュ生地、布ばね、ウェービングテープ（伸縮性の高いゴムベルト）を使用し、臀部および大腿部の形状測定を試みた。また、空気いすでの測定結果と比較し、測定用椅子に使用する座面の選定を行った（図9、図10）。

その結果、ウェービングテープを座面の前後方向に一列に並べたもの（縦張り）が、他の条件に比べて、空気いすでの測定結果に近く、外力の影響の少ない自然な形状を捉えていると考えられた。取得した形状データの使用目的に応じて、座面張生地を調節することが望ましいが、今回のシステム開発はデータ蓄積や座位形状のモデル化を目的としており、そのための測定条件としては、ウェービングテープを座面の前後方向に一列に並べたものが妥当であると考えられた。

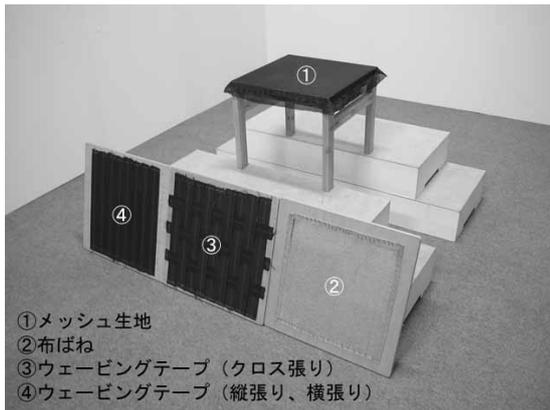


図 9 座面張生地の検討



図11 座位形状の測定風景

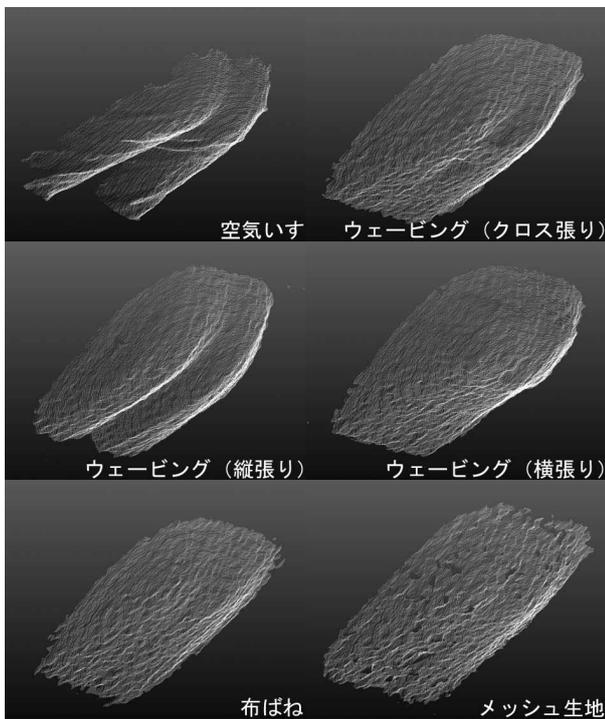


図 10 座面張生地による違い

#### 4.3 座位形状の測定

試行として、測定用椅子着座時の人体形状の測定を行った（図11）。底面センサでは臀部の後方の形状が張生地の影響で測定できていなかったが、背面センサと併せることで測定が可能となった（図12）。

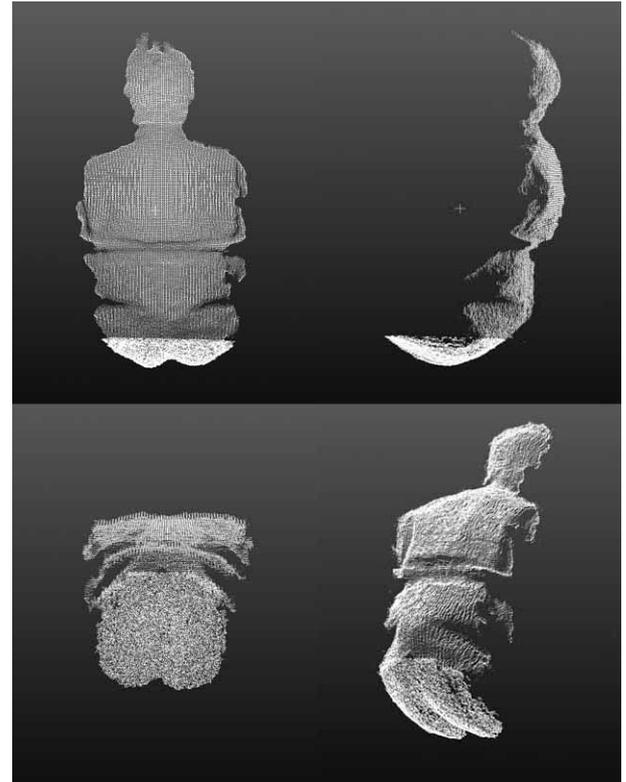


図12 測定結果の一例

#### 5. まとめ

座位姿勢での人体形状を記録する測定システムを試作した。Kinectセンサの導入により、従来の三次元形状測定装置と比較して安価であり、また従来測定ができなかった座位姿勢での臀部およびその周辺の形状が測定可能となったが、従来装置と比較し、測定精度が劣っていた。

測定条件については、被験者への負担、筋緊張による姿勢や形状の変化、転倒の危険性等を考慮し、座面に張った伸縮性の高い素材に着座し、その裏面から形状測定を行う方法を選択した。座面に張る素材選定のため、布ばねやメッシュ生地、ウェービングテープを使用して比較を行った結果、ウェービングテープを座面の前後方向に一列に並

べたものが形状測定に適していると考えられた。

試行的に座位形状の測定を行った結果、張生地などの測定環境によるデータの欠損は確認されなかった。開発した測定システムは、従来の手法のように測定者の手作業がないため、計測者間の測定誤差が小さく、体重を測定用椅子に預けて短時間で測定が可能のため、被験者への負担を最小限に抑えることが可能と考えられた。

## 6. 今後の課題と展望

今後の課題として、以下が挙げられた。

- ・誤差2~3mmを目標とした測定精度の向上（センサの設置位置、設置数の再検討）
- ・データ処理の効率化（ノイズ除去、複数のセンサで取得したデータの位置合わせ）
- ・相同モデル作成のための特徴点の選定と抽出方法の検討<sup>10)11)</sup>

また、現在はデータ蓄積や座位形状のモデル化を目的とし、形状分布や体格・性別差等の分析を行うことで製品開発に応用することを前提としたシステム開発を行っているが、将来的にはカスタマイズのプロセスへの導入や動作時の形状変化の分析についても検討を進めたい。

## 参考文献

- 1) 野呂影勇：座り心地品質の可視化と表示法，日本人間工学会第 16 回システム大会講演集，in CD，2008
- 2) Hirao, A., et al.: Development of a New Driving Posture Focused Biomechanical Loads, SAE Paper, 2006-01-1302, 2006
- 3) 山崎 信寿, 諸永 裕一：短時間休息用剛体支持面安楽寝椅子の形状適合化, 人間工学, Vol. 36, No. 1, pp. 29-37, 2000
- 4) Wu, C. S., et al.: Research on pelvic angle variation when using a pelvic support, Ergonomics, Vol. 41, No. 3, pp. 317-327, 1998
- 5) 栗原俊介：個人の臀部形状に適した座面モデルの提案, 日本人間工学会第 16 回システム大会講演集, in CD, 2007
- 6) 藤家馨ほか：脊髄損傷者の車いす着座時臀部形状と褥瘡との関係, 人間工学, Vol. 35, No. 2 Supplement, pp. 302-303, 1999
- 7) バイオメカニズム学会（編），持丸正明，河内まき子（著）：バイオメカニズム・ライブラリー人体を測る一寸法・形状・運動一，東京電気大学出版局，2006
- 8) Tong J., et al: Scanning 3D Full Human Bodies using Kinects, IEEE Virtual Reality 2012
- 9) United States Patent Patent Application Publication, DISTANCE-VARYING ILLUMINATION AND IMAGING TECHNIQUES FOR DEPTH MAPPING, Pub.No. US 2010/0290698, 2010
- 10) 藤巻吾朗，人間・生活者視点による人にやさしい製品開発（第 2 報），岐阜県生活技術研究所研究報告，NO.10, pp.8-10, 2008
- 11) 持丸正明，人体形状の変異と産業応用，バイオメカニズム学会誌，Vol. 29, No. 2, pp. 90-94, 2005
- 12) 河内まき子，持丸正明，形状スキャナによる人体寸法計測の精度評価，デジタルヒューマン・シンポジウム 2009, 2009
- 13) 西林孝，小野憲史（著）：キネクトハッカーズマニュアル，株式会社ラトルズ，2011
- 14) 中村薫（著）：Kinect センサープログラミング，株式会社秀和システム，2011