木材の3次元的深絞り加工（第1報）

半固定板目材の開発と単板からのスピーカーコーン成形^{*1}

中村晋平^{*2}, 二村伸一^{*3}, 前野和也^{*3}, 葭谷耕三^{*3}, 棚橋光彦^{*3}

Development of Three-dimensional Molding Method for Wood Veneers I.

Development of flat-grained semi-fixed wood and fabrication of speaker cones from veneer sheet^{*1}

Shimpei NAKAMURA^{*2}, Shin-ichi FUTAMURA^{*3}, Kazuya MAENO^{*3},
Kouzou YOSHITANI^{*3} and Mitsuhiro TANAHASHI^{*3}

The three-dimensional molding method of wood veneer is one of the promising technologies that can increase the utilization ratio of domestic softwood. However, so far in this technology semi-fixed wood, which is the raw material of three-dimensional molding, is fabricated by compression only in the R direction. Therefore, only edge-grained veneers were obtained, and the products that could be made were limited to edge-grained patterns. In this study, fabrication of flat-grained semi-fixed wood was achieved by applying a 2-step compression method. Furthermore, speaker-cones were molded from both edge-grained veneer and flat-grained veneer by using the three-dimensional molding method. In the case of edge-grained veneer, a success ratio of 80% was obtained with 0.4 mm and 0.5 mm-thick veneers, and a success ratio of 50% was obtained in the case of flat-grained veneers. The frequency response of these products showed that they were comparable to commercial products.

Keywords: three-dimensional molding, high-pressure steam, deep drawing, stretchable wood, compressed wood.

木材の3次元成形技術は国産針葉樹材の利用拡大および、プラスチック代替資源としての木材利用に大きく寄与できる可能性を持つ技術の一つである。しかし、これまでに原料として用いられて来た半固定材はR方向に圧縮を加えた柾目材のみであり、木目の美しさ等を最大限に生かすことが出来なかった。本研究では、2段階の圧縮工程を経ることにより陥入を生じることなくT方向へ木材を圧縮することを実現し、湿潤条件下において100%程度の伸び率を有する板目材を得ることに成功した。また、まさ目材および板目材の半固定材を成形し、これらを原料として木材単板からのスピーカーコーンの成形を試みた。0.4 mm厚および0.5 mm厚の柾目材を用いた場合80%程度の成形成功率を示し、板目材を用いた場合でも50%程度の成功率を示した。音圧周波数特性の測定の結果、これらが市販ウッドコーンに匹敵する音響特性を有することが示された。

^{*1} Received August 20, 2010; accepted November 5, 2010. 本研究の一部は第56回日本木材学会大会（秋田，2006年8月）において発表した。

^{*2} 岐阜大学大学院連合農学研究科・日本学術振興会特別研究員 DC United Graduate School of Agriculture, Gifu University, (JSPS Research Fellow), Gifu 501-1193, Japan

^{*3} 岐阜大学応用生物科学部 Faculty of Applied Biological Sciences, Gifu University, Gifu 501-1193, Japan

1. 緒 言

我が国では木材の大部分を海外からの輸入に頼り、木材自給率が20%程度と国産材の利用率に乏しいため¹⁾、国内の森林の荒廃が問題視されている。このような問題の解決には新たな木材の利用技術を開発し、間伐材等を含めた国産材に付加価値を与えながら有効活用することで我が国の林業を活性化し、健全な森林育成を促進していくことが重要である。国産材の利用率拡大には戦後幅広く植林されたスギ (*Cryptomeria japonica*) やヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*) などの針葉樹材の有効活用が必要不可欠であるが、これらは軽軟であるために利用が困難である。これまでに針葉樹材の利用用途拡大を目指し、木材に圧縮大変形を加えることで材を圧密化し、その強度性能を向上させる技術の開発が行われてきた²⁻⁵⁾。中でも、高圧水蒸気圧縮成形法⁵⁾は木材を軟化、圧縮変形後の形状固定を高温高压の飽和水蒸気による処理のみにより行なうため、化学薬品を一切使用することなく木材を加工することが可能である。

我々は、これまでにドラインセットした圧縮材が水熱処理により元寸法まで回復する特性^{6,7)}を利用することで、木材に伸縮性を付与することが可能であることを見出した⁸⁾。これにより、高圧水蒸気を用いて木材を軟化、圧縮したセット材 (半固定材) より単板を切り出し、これを再度軟化、回復させながら成形を行なうことにより、木材に3次元的深絞り加工を施すことが可能となった。この技術は木材単板を様々な形状へと成形すると同時に圧縮による強度付与も可能であり、木材の利用用途拡大技術として期待できるものである。

しかし半固定材の伸長方向は圧縮方向に依存することに加え、これまでの半固定材の成形はR方向への圧縮のみで行なわれてきたことから、これまでの半固定材から得られる3次元成形加工物はまさ目模様限定されてきた。板目材での3次元成形加工が可能となれば、木材の持つ複雑で美しい木目を生かすことが可能となり、更なる技術の応用が期待できる。また、木材は振動板として優れた音響特性を有し、古くからバイオリンなどの楽器響板として使用されてきた。これまでに、この音響特性に着目したウッドコーンスピーカーの開発が行われてきているが、これは切り込みを入れたカバ材単板を使用し、樹脂含浸等を経て成形されるものである⁹⁾。しかし、国産針葉樹材からの良質な音響特性を有するスピーカーコーンを成形する技術が確立できれば、木材の

3次元加工技術の発展および国産材の利用用途拡大に大きく寄与できるものであると考えられる。そこで本研究では、T方向に圧縮を加えた半固定材の成形法の検討を行なうとともに、得られた半固定材を用いて深絞りの3次元加工によるスピーカーコーン成形を試みた。

2. 実験方法

2.1 半固定材の成形

半固定材の成形は大型圧縮成形装置 (HTP-50/250 (株) 日阪製作所製) を用い、高圧水蒸気処理による木材圧縮成形法^{5,8)} に準じて行なった。3次元成形加工に用いる半固定材が引き伸ばされる方向は圧縮方向に依存するため、本研究ではR方向に圧縮を加えたまさ目材およびT方向に圧縮を加えた板目材の成形を試みた。

2.1.1 まさ目材の成形

試料には直径が400 mm以上の国産ヒノキの丸太から髄を避け、L (繊維方向) × T (接線方向) × R (放射方向) = 1000 × 100 × 200 (mm) となるように切り出した材を用いた。試料を刃材部が下部に来るように装填し、装置内に高圧飽和水蒸気を導入することで110℃、2時間の予備蒸煮を行なった。その後、さらに水蒸気を導入することで140℃まで装置内の温度を上昇させ、1時間の軟化処理を行なった。処理後、プレスを行いR方向に圧縮率50%を目標に圧縮を行なった。直後に装置より水蒸気を排出し、プレスをかけたまま一晩放置することで放冷した後、材を取り出した。成形後の材をLR面においてスライスすることで厚さ0.3-0.6 mmの単板を得た。

2.1.2 板目材の成形

まさ目材の成形に用いたヒノキと同一の丸太からL × T × R = 1000 × 200 × 150 (mm) となるように切り出した材を試料として用いた。装置内に直径約5 cmの竹を半割りにしたものを複数個、外皮側が上向きになるように設置し、その上に刃材部が下部に来るように試料を装填した。装置内に高圧飽和水蒸気を導入することで110℃、2時間の予備蒸煮を行なった後、さらに水蒸気を導入することで130℃まで装置内の温度を上昇させ、1時間の軟化処理を行なった。処理後、プレスを行いR方向にR = 105 mmとなるまで圧縮を行なった。直後に装置より水蒸気を排出し、プレスをかけたまま一晩放置することで放冷した後、材を竹とともに90度回転させた。再び装置内に水蒸気を導入し、110℃、2時間の予備蒸煮を行なった後、装置の温度を140℃まで上昇させ、1時間の処理を施した。処理後、プレス

を行ないT方向に圧縮率50%を目標に圧縮を行なった。直後に装置より水蒸気を排出し、プレスのかけたまま一晩放置することで放冷した後、材を取り出した。成形後の材をLT面においてスライスすることで厚さ0.3 mm-0.6 mmの単板を得た。

2.2 引張強度および伸び率の測定

半固定材の引張時の破壊荷重および伸び率の測定を行った。測定には万能試験機 (SV55型 (株)今田製作所製) を用い、R方向もしくはT方向に荷重をかけることで行なった。上記で得られた半固定材を自然乾燥させてから、風乾状態の試験体としてL方向に15 mm、R方向もしくはT方向に70 mmの長方形に切って試験体とした。試験体の上下両端10 mmは試験の際に試験機のつかみ具で挟む部分となるため、測定した際に有効となる試験体の長さは50 mmである。また、測定直前に5分間常温の蒸留水に浸漬したものを湿潤状態の試験体とした。この時、つかみ具で保持する箇所の強度が湿潤により低下してしまうことを避けるために、保持部分のみを木工用ボンドとガムテープを用いて保護した状態で水中に浸漬し、測定時にはこれを除去してから行った。また、湿潤状態の試験においては伸び率が大きく、装置の測定限界を超えてしまうことが想定されたため、試験体の寸法はR方向もしくはT方向の長さを50 mmとし、測定時に有効となる試験体長は30 mmとなるようにした。これらの試験体を万能試験機にセットし、引張速度を10 mm/minとして測定を行った。サンプルが破壊した際の破壊荷重と伸びを測定し、伸び率を式(1)より算出した。この時、式(1)における L は有効試験体長 (mm)、 D は伸び幅 (mm) である。

$$\text{伸び率} = \frac{D}{L} \times 100 (\%) \quad (1)$$

2.3 スピーカーコーン成形

スピーカーコーン成形用治具は成形原料となる単板を設置する下段、その単板を固定する中段、単板を圧縮成形する上段から構成される。原料単板は半固定材成形時の圧縮方向であるR方向もしくはT方向には引き伸ばされるが、L方向に引き伸ばすことは出来ない。つまりスピーカーコーン成形時におけるL方向の成形は単板を治具内部に引き込むことにより行なう。よって、成形治具の中段は二段構成とし、中段1および中段2の間隔に隙間を設けることにより材を内部に引き込む余裕を持たせるように設計した (Fig. 1)。また、本治具を用いてスピーカーコーン成形を行なう際、成形物の板厚はプレス距離により調整可能であるが、最深部の立ち上がり部位

Fig. 1. Jig for three-dimensional molding.

(a): Total image of molding jig

(b): Dismounted molding jig

(c): Cross-section drawing of molding jig

の側壁は上治具と下治具の径の差により決定されるため、0.6 mm厚としてある。

2.1で成形した単板をL方向に110 mm、各半固定材の圧縮方向に応じてR方向もしくはT方向に80 mmの楕円状に切り出した。材の伸長可能方向の両端部の約10 mmを常温の水に10秒間程度浸漬させ、湿潤状態にした後に成形治具にセットした。成形治具を小型圧縮成形装置^{5, 10)}の中に入れ、高圧水蒸気による軟化処理を施しながらプレスすることにより成形を行なった。この時、成形物の板厚が0.3 mmとなるように総プレス量を設定するとともに、このプレス量を6分割することで段階的にプレスを行なった。成形に先立って装置内に蒸気を導入することで成形装置内の温度を100℃程度まで上昇させた後、成形治具を装置内に入れた。成形装置内に治具をセットした時点で第1段階のプレスを行い、装置の蓋を閉め、蒸気の導入する直前に第2段階のプレスを行なった。蒸気の導入を開始し、装置内の温度が110℃に達した時点から10℃上昇するごとにプレスを段階的に降下させ、140℃に達した時点でプレスを完全に降下させた。プレス後も水蒸気の導入を継続し、装置内の温度を180℃に上昇させ5分間処理することにより形状固定を施した。この時、装置内の温度が180℃に達するまでの昇温時間は約1分間である。

2.4 音圧周波数特性測定

2.3で成形したスピーカーコーンのうち、まさ目材0.5 mmおよび板目材0.5 mmのものをスピーカーとして組み上げ、音圧周波数特性の測定を行った。測定は無響室内に設置したオートマチックオーディオテスタ (OAT-505 (株)オンソク製) を用いて行なった。この時の測定条件として、スピーカーセ

ットは JIS C5532 に準拠した標準密閉箱に取り付けた後、スピーカーとマイクロフォンの距離を 1 m とし、入力電圧を 2 V とした。なお、本試験では比較対象として市販ウッドコーンを用いた。このコーンは切り込みを入れたカバ材シートを熱プレスにより成形したものであり、裏紙加工および樹脂加工が施されたものである。

3. 結果と考察

3.1 半固定材の成形

まさ目材、板目材ともに圧縮率 50% に成形することに成功した。通常、木材の圧縮加工は R 方向に対する加工が多く用いられるが、T 方向に圧縮を施した場合 Fig. 2 に示したような陥入が生じるために正常に圧縮を行なうことが不可能である。本研究では板目材の成形時に 2 段階の圧縮工程を行なうことで、この問題を解決した。1 次圧縮工程では試料下部に半割の竹を配置し、R 方向に圧縮することで背板部に竹が食い込み、試料年輪にランダムな波型を付与した (Fig. 3a)。これにより、2 次圧縮工程に

Fig. 2. Invagination caused by single step compression in the T-direction.

おいて T 方向に圧縮した際に陥入しようとする力を分散させ、正常な圧縮を可能としたと考えられる (Fig. 3b)。

Table 1 には、成形したまさ目材および板目材の各板厚の引張強度および伸び率を示した。乾燥状態における伸び率は約 30% - 50% 程度であり、乾燥状態においても単板の引き伸ばしが可能な状態であることが示された。一方で湿潤状態での伸び率はまさ目材、板目材ともに 100% 前後の値を示し、大きく引き伸ばしやすい状態であることが明らかとなった。これらの結果は 2 段階圧縮を行なうことで、木材 3 次元成形加工に使用可能な板目材の成形に成功したことを示すものである。しかしながら、板目材の引張に対する破壊強度はまさ目材と比較して小さい値を示した。木材の T 方向への横引張強度は R 方向に対するそれよりも小さいことが知られており、針葉樹における R 方向に対する横引張強度は T 方向に対して 1.5 倍程度である¹¹⁾。今回成形したま

Fig. 3. Two-step compression for preparing flat-grained semi fixed wood.

(a) : Deformation of grain by placing bamboo (step 1)

(b) : Compression in the T-direction without causing invagination (step 2)

Table 1. The properties of semi-fixed wood.

	Thickness (mm)	Density (g/cm ³)	Percentage Elongation (%)		Maximum Load (N)	
			Dry	Wet	Dry	Wet
Edge-grained	0.3	0.88 ± 0.01	33.0 ± 11.1	107.2 ± 32.6	1.29 ± 0.17	0.88 ± 0.08
	0.4		39.4 ± 9.2	103.9 ± 23.0	1.93 ± 0.15	1.28 ± 0.20
	0.5		43.4 ± 12.6	113.2 ± 18.1	2.34 ± 0.17	1.55 ± 0.25
	0.6		33.8 ± 6.4	113.3 ± 6.4	2.52 ± 0.13	1.87 ± 0.08
Flat-grained	0.3	0.88 ± 0.03	40.2 ± 11.1	124.3 ± 33.0	0.90 ± 0.13	0.46 ± 0.11
	0.4		37.2 ± 6.5	118.7 ± 21.3	1.17 ± 0.34	0.47 ± 0.10
	0.5		28.9 ± 18.6	108.0 ± 13.4	1.28 ± 0.51	0.51 ± 0.11
	0.6		50.2 ± 9.0	99.5 ± 5.4	1.78 ± 0.22	0.64 ± 0.08

Data given as mean ± standard deviation

さ目材と板目材の横引張に対する破壊強度を比較するとほぼこれに一致する。すなわち、この強度差は主に木材の引張強度の異方性に由来するものであると考えられる。

3次元成形加工にこれらの試料を用いることを考慮すると、まさ目材と比較して板目材は十分な伸び率を有するものの、伸長過程で破断を生じやすいなどのリスクが高いことが想定される。

3.2 スピーカーコーン成形

半固定材は圧縮後に固定処理を施していないためドライグセット材に類似する性質^{6,7)}を有し、水熱処理を施すことにより元寸法付近まで回復する。すなわちスピーカーコーン成形加工中においても、高圧水蒸気を装置内に導入することにより、プレスを施す以前から材の伸長が開始されることとなる。試料の板厚が3 mm程度のものでは、数分間の軟化処理後にプレスを施すことにより成形が可能であることを前報⁸⁾で報告したが、本研究で用いた板厚0.3 mm-0.6 mmの単板では軟化処理後にプレスを施した場合、成形物にシワ等が生じてしまった(Fig. 4)。これは試料が薄いために水蒸気の影響を受けやすく、治具内部で半固定材が大きく伸長し、プレス時にこれが折りたたまれたことに起因する。一方、軟化不足のままプレスを下ろした場合、材の伸長不足により破断が生じてしまう。

そこで本研究では前報⁸⁾で用いた軟化処理工程を除外し、形状固定処理に用いる温度条件である180℃までの昇温過程に負荷を開始することで成形を行なった。この手法を用いることで、材の軟化および伸長速度にあわせたプレスを行なうことに成功した。また、3.1で示したように半固定材をより大きく引き伸ばすためには材を湿潤状態とする必要があるが、材を湿潤状態にすると引張強度が低下するという半固定材の特性が成形において非常に問題となった。単板を湿潤状態にしないままに成形を開始すると、材の伸長不足により成形中に破断が生じてしまう。一方で、全体を湿潤状態として成形を開始す

ると、急激に材の伸長が起こることで成形物にしわが発生することや、引張強度の低下によりスピーカーコーン最深部の立ち上がり部位での破断が生じてしまうなどの問題点が見られた(Fig. 5)。そこで、2.3に記した方法で材の両端のみを湿潤状態とすることでこれらの部位を優先的かつ選択的に伸長させることにより、最深部が成形時に破断しない強度を保ったまま、成形に十分な伸びを得ることに成功した。また、原料の形状を楕円状とすることにより、引き込みによりL方向への変形を行なう余裕を持たせることでスピーカーコーンへの深絞り加工を可能とした。

これにより得られた成形物をFig. 6に示す。まさ目材0.4 mmおよび0.5 mmにおいては成功率90%程度での成形が可能であった。一方で、0.3 mmおよび0.6 mmでは成形成功率が60%程度と比較的低い値となった。本研究で用いた成形条件では最終板厚を0.3 mmとしたことから、0.3 mmの単板を用いた場合では、プレスが完全に降下するまで単板が自己伸長するスペースが治具内に存在することや、単板自体が水蒸気の影響を受けてプレス速度よりも速く伸長してしまうことなどが起因して、Fig. 4に示したような欠陥が多く見られた。また、その引張強度の低さに起因した最深部での亀裂も多く見受けられ、0.3 mmの単板を用いたコーン成形が困難であることが示唆された。

0.6 mmの単板を用いて成形した場合、スピーカーコーンの側壁部が強く圧縮され、半透明に変色した部位が見られた(Fig. 7)。Fig. 8には、原料単板にあらかじめ5 mm間隔で格子状に線を引いたものを用いて成形したスピーカーコーンを示し、図中で示した区画の格子間隔をTable 2に示した。図中の上下方向は半固定材の伸長により成形されるため、スピーカーコーンの上部および下部の壁部の上下方向の格子間隔(Row 1: 1-5 および12-16)は5.3 mm-6.8 mmまで引き伸ばされていた。一方で、繊維方向への伸長は生じないため、格子の間隔は5.0-

Fig. 4. Fold caused on the sidewall of a product.

Fig. 5. Crack caused at the deepest part of a product.

Fig. 6. Speaker-cones molded by the three-dimensional molding method.

Note: EG-Edge graind FG-Flat graind.

Fig. 7. Change of color caused on the side wall of product made from 0.6 mm veneer.

Fig. 8. Speaker-cone made from veneer with a 5 mm width waffle pattern.

Note: Width data of Row 1 and Row 2 are shown in Table 2.

5.1 mm であり、どの区画においても大きな変化は生じなかった。また、コーン最深部の立ち上がり部位 (Row 1 : 6-7 および 10-11) では最も大きな材の伸長が生じ、上下方向の格子間隔は 7.4 mm-7.6 mm まで引き伸ばされていた。線の湾曲からも分かるように、繊維方向 (図中の横方向 : Row 2) への変形は内部への引き込みにより生じているために、最深部付近 (Row 2 : 7-15) を除いて材の伸長はほとんど生じていない。特に側壁部 (Row 2 : 2-5 および 18-20) においては、引き込み時に収縮が生じていることが上下方向の格子間隔から明らかと

なった。つまり、変色が生じた部位においては材が引き込みにより収縮することに加え、プレス成形により厚み方向へ圧縮されるため、この部位のみが過剰に圧縮される結果となった。この部位の密度は約 1.3 g/cm^3 と木材の真比重近くまで圧縮されていることから、細胞壁が完全に押しつぶされて空気層が

Table 2. Width of the square cell of molded products (mm).

Cell number ^{b)}	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
Row 1 ^{a)}	V ^{c)}	6.2	6.8	5.7	6.0	5.7	7.4	7.0	5.9	5.9	7.5	7.6	5.8	6.1	5.3	5.7	6.3	–	–	–	–	–
	H ^{c)}	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.1	5.1	5.1	5.1	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	–	–	–	–	–
Row 2 ^{a)}	V ^{c)}	2.9	3.7	4.2	4.5	4.9	5.0	5.2	5.5	5.7	5.8	5.7	5.9	5.8	5.6	5.6	5.2	5.1	4.7	4.5	4.2	3.6
	H ^{c)}	4.8	5.1	5.1	5.0	5.0	5.1	5.0	5.1	5.2	5.0	5.0	5.1	5.0	5.0	5.0	5.1	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0

Note: a) Row 1 and Row 2 are referred from Fig. 8

b) Cell numbers of Row 1 are given from top to bottom and those of Row 2 are from right to left (see Fig. 8)

c) V indicates width of vertical direction and H indicates width of horizontal direction

失われたことにより変色が生じたものである¹²⁾と推察される。

さらに、本成形で用いた治具の最深部の側壁間隔が0.6 mm であることから引き込み時に摩擦抵抗が生じ、この部位において破壊が生じる現象が見られた。このようなことから0.6 mm の単板では成形成功率の低下が生じるとともに、スピーカーコーンとしての見た目の美しさを考慮に入れた場合、材の変色は好ましくなく、0.6 mm 厚の単板においても成形は困難であると判断した。

板目材を原料としたものにおいてはどの板厚においても成形成功率が50%程度であり、成形物の多くに亀裂が生じる結果となった。すなわち、板目材による3次元成形加工が困難であることが明らかとなった。これは板目材の引張強度が小さいことに起因すると考えられる。また、木材圧縮時に大きく圧縮される部位は早材部であることから、3次元成形時に伸長可能となる部位も早材部となる。すなわち、まさ目材においては早材および晩材部が規則的に配列していることから、伸長可能部が材中に均一に分布していることになる。一方で板目材においては、その複雑な木目模様からもうかがえるように、早材および晩材の分布は不規則的であり、それに伴って伸長可能部位の分布も不均一となる。また、Fig. 8 および Table 2 に示したように3次元成形時にはその部位により要求される伸び率が異なる。つまり、板目材のように伸長可能部位が不均一である単板を用いた場合、要求される伸び率と単板の伸長可能部位が合致しないなどの問題点が生じるリスクが高くなる。これらが板目材の成形成功率の低下の要因であると推察される。

3.3 音圧周波数特性

3.2で成形したスピーカーコーンをスピーカーとして組み上げ、音圧周波数特性の測定を行った(Fig. 9)。低音域から中音域にかけては、まさ目材、板目材ともに市販ウッドコーンと同様の音圧周波数特性を示した。しかしながら、図中の四角で示した5.5 kHz 付近で音圧の低下が生じていることが明らかとなった。また、まさ目材と板目材を比較した場合、板目材の方が音圧の低下も小さく、乱れも少ない値を示した。本研究では板目材をスピーカーコーン材料に用いることで木目の美しさに加え、まさ目材よりも異方性が大きいことを利用し、内部損失の増大および共振を減少させることで音圧の安定化を期待した。結果として、高音域における音圧低下の軽減を得ることを実現した。しかし、全体的な音圧を考慮した場合、まさ目材においても比較的安定した音

Fig. 9-a. Frequency response of a commercial product.

Fig. 9-b. Frequency response of an edge-grained speaker-cone.

Fig. 9-c. Frequency response of a commercial flat-grained speaker-cone.

圧を得られていることが分かる。これはFig. 5に示した、成形過程における材の伸長の不均一性に起因すると考えられる。すなわち、成形中に材の異方性が増大し、まさ目材を用いた場合でも優れた音響特性を発現させることに成功したと考えられる。高音域での音圧の低下などの改善の余地はあるものの、総合的に判断すると、いずれのスピーカーコーンも、市販ウッドコーンと遜色のない音圧周波数特

性を有している。すなわち、3次元成形加工を施すことで、圧縮加工のみで国産針葉樹を市販品に匹敵する音響特性を有するスピーカーコーンへと加工することに成功したことを示す結果となった。

4. 結 論

本研究では、2段階圧縮工程を施すことで伸縮可能な板目材の成形に成功した。また、半固定材の特性を利用し、金属加工等に用いる深絞りの3次元加工を木材に施すことにより、単板からのスピーカーコーンの成形を試みることで以下の知見を得た。

1. 半固定板目材の成形には2段階圧縮が有効であった。
2. 半固定板目材は高い伸縮性を有するが、引張強度に乏しい。また、まさ目材に比べると早材と晩材が不規則に分布しているため、伸張可能部位の分布が不規則になり、スピーカーコーン成形の成功率が低下した。
3. 深絞りの3次元加工によるスピーカーコーン成形では軟化工程を除外し、段階的にプレスする方法が有効であった。
4. まさ目材0.3 mmや板目材のように引張強度に乏しい材料では、成形中に材の破断が生じ、成形が困難であった。また、0.6 mm厚の単板のように厚み方向への圧縮が大きくなるものでは、伸びが制限される箇所において過剰に圧縮され、材の半透明化がしうじた。
5. 深絞りの3次元加工により成形されたスピーカーコーンは、音圧の乱れが小さく、市販ウッドコーンに匹敵する音響特性を有した。

本研究では上記のように半固定材を用いることで、木材単板からプレス加工によりスピーカーコーンを成形することが可能であることを示した。これはヒノキ材などの国産針葉樹を圧縮することで音響振動板として活用できる可能性を示唆するものである。

しかし、本研究は単板からのスピーカーコーン成形および、その成形物のスピーカーコーンとしての特性に焦点を当てたものであり、圧縮ヒノキ材のヤング率および共振周波数等の音響特性に関する更なる研究が必要である。これらに関する知見は近い将来に報告することとする。

文 献

- 1) “森林・林業白書 平成18年版 国民全体で支える森林”，林野庁編，日本林業協会，東京，2006，pp. 16-22, 28-33, 71-76.
- 2) 則元 京：木材学会誌 39, 967-974 (1993).
- 3) Inoue, M., Norimoto, M., Tanahashi, M., Rowell, R. M.: *Wood and Fiber Sci.* 25(3), 224-235 (1993).
- 4) 宇高英二，古野 毅：木材学会誌 44, 218-222 (1998).
- 5) Ito, Y., Tanahashi, M., Shigematsu, M., Shinoda, Y., Ohta, C.: *Holzforschung* 52, 211-216 (1998).
- 6) 飯田生穂，則元 京，今村祐嗣：木材学会誌 30, 354-358 (1984).
- 7) 井上雅文，青木 務，額川五郎：木材研究・資料 No. 28, 59-71 (1992).
- 8) 中村晋平，二村伸一，前野和也，葭谷耕三，棚橋光彦：木材学会誌 55, 77-84 (2009).
- 9) 日本ビクター株式会社：特開2004-254013 (2004).
- 10) Kyomori, K., Onwona-Agyeman, S., Shigematsu, M., Shinoda, Y., Tanahashi, M.: *Trans. MRS-J.* 28(4), 1095-1098 (2003).
- 11) 高橋 徹：“新編 木材工学”，中戸莞二編著，養賢堂，東京，1985，pp. 207-209.
- 12) 国立大学法人信州大学：特開 2006-123297 (2006).