

研究題目	国産スギ間伐材を用いた純国産弦楽器の開発（音響特性の解明と制御・設計手法の確立）	報告書作成者	寺島 修
研究従事者	寺島 修, 宮島敏郎, 森崎稜磨, 重昂輝, 西川礼恩, 辻隆親		
研究目的	<p>弦楽器の製作に際し、木材は欠かすことのできない材料である。ギターでいえばボディやネックなどの主要部が木材で製作されている。しかし、日本国内に多くの木材があるにもかかわらず、ローズウッドやハワイアンコアなどの海外からの輸入材を用いて製作する弦楽器は多い。海外からの輸入材が重用される数値的・論理的な根拠は生憎持ち合わせていないが、おそらく輸入材の方が弦楽器に適した特性を有しており、製作した楽器の発音・共鳴・減衰特性などが優れるためであると考えている。</p> <p>このような状況に対し、著者は何とか日本国内にある木材を用いて輸入材を用いた場合と同等、あるいはそれ以上の発音・共鳴・減衰特性をもつ弦楽器をつくり出すことができないかという思いでこの研究を始めた。この理由は2つあり、1つ目は上述の通り、間伐材を始めとして日本国内には多くの木材があるため、それを輸入材の代替材として活用することができれば環境や経済面で多くのメリットが得られる点である。また、2つ目として、輸入材はワシントン条約などの国際取引規制や世界の状況・動向に左右されてその価格や入手の難度が大きく変化するため、安定して国内で入手し続けるためには課題が想定される点である。</p> <p>そこで本研究では、弦楽器の材料として使用されている海外産の良質な木材がワシントン条約などの取引規制により今後国内で入手が困難になる状況を見据え、国産スギの間伐材をその代替材料として使用するための研究を行った。</p> <p>本研究では、国産スギ材を弦楽器製作に利用するため、(1)スギ材の圧縮成型、(2)圧縮スギ材の音響・発音特性の解明、(3)(1)/(2)の結果を踏まえた弦楽器製作用木材料の製作方法、(4)(3)を用いた楽器の製作による発音特性の検証、を行った。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-start;"> <div data-bbox="436 1029 750 1404" style="width: 30%;"> <p>研究の目的</p>     </div> <div data-bbox="761 1029 1220 1404" style="width: 40%;"> <p>最終目標</p> <p>音響・意匠・環境の三面で 価値創出可能な弦楽器づくりの確立</p> <p>富山県の木材の圧縮成型技術に着目</p> <p>↓</p> <p>富山県のスギ間伐材を圧縮成型</p> <p>↓</p> <p>木材の密度を輸入材と同等程度に</p> <p>今年目的</p> <p>演奏音の観点での楽器の成立性を検討</p> </div> <div data-bbox="1243 1029 1848 1412" style="width: 30%;"> <p>研究のながれ</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <p>単体評価</p> <ul style="list-style-type: none"> 圧縮成型したスギ材の密度/音響透過損失/内部構造の計測/観察 </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <p>振動評価</p> <ul style="list-style-type: none"> 圧縮成型したスギ材で製作したウクレレのトップ板の振動特性の計測 </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>音色評価</p> <ul style="list-style-type: none"> 圧縮成型した木材で製作したウクレレの発音特性の計測 プロ演奏家による音色の評価 </div> </div> <div data-bbox="1859 1029 2094 1412" style="width: 30%;">    </div> </div>		

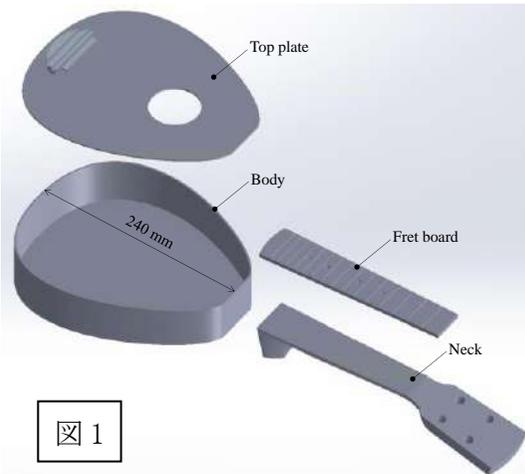
研究内容

以下、本研究の内容を抜粋して示す。詳細は報告書を参考されたい。

図 1 に試作したウクレレの斜視図と主な構成部品を示す。ウクレレはソプラノサイズとした。今回はこのウクレレの上部の板(以下、トップ板)を代表的な輸入材であるローズウッドとした場合と圧縮成型して製作したスギ材とした場合の振動音響特性について調べた。スギ材の圧縮率は 60-70%とし、トップ板の厚さは 2 mm とした。

木材の単体特性を調べるため、密度と音響透過損失の計測を行った。密度の計測は図 2 に示すように島津製作所製の AUW220D を用いて行った。また、音響透過損失の計測は図 3 に示すように Brüel & Kjær 社の音響透過損失計測装置(Type 4206)を使用した。密度の計測は 10mm×10mm×2mm の木片、音響透過損失の計測は直径 65mm、厚さ 2mm の木板を用いて行った。

異なるトップ板を使用した場合のウクレレの振動音響特性を図 4 に示す形で調べた。計測は過去の研究に倣い、一定の弾力で弦を弾いた際の弦を巻き付けるペグとトップ板の振動を計測し、トップ板の振動モードを解析して調べた。使用した振動加速度センサは PCB 社の 352C41、データロガーは Keyence 社の NR-500、シグナルコンディショナは Keyence 社の NR-CA04 である。振動計測時のサンプリング周波数は 20 kHz、測定時間は 10 秒とした。測定した振動加速度の情報を基に、モード解析ソフトウェア ME'scope VES を使用してモード解析を行った。周波数応答関数の算出ではウインドウの種類はハニング、ウインドウのサイズは 32,768 点とした。また、同じデータロガー、シグナルコンディショナ、計測条件の下、ウクレレのトップ板のホール直上 200 mm の位置にマイクロホンを設置して音の計測も行った。マイクロホンは PCB 社の 130F20 を使用した。



<p>研究のポイント</p>	<p>本研究のポイントは、弦楽器づくりにおいて当たり前に近いものとなっている輸入木材の利活用に一石を投じることを目的に研究を行った点である。</p> <p>スギの木に代表される国産木材は入手が容易であり、さらに、間伐材を用いれば環境やコストの面で大きなインパクトがある。また、国産の木材は木目が美しく、意匠面での価値も高い。しかし、国産の木材は輸入木材に比べて丈夫である一方、軽くて柔らかくて低密度である特徴をもつため、そのままの状態ですぐに楽器に利用しても輸入材を用いた場合と同等の発音特性や音色を出すことは難しいと予想される。</p> <p>そこで本研究では、木材を圧縮成型する技術に着目し、富山県内で入手したスギの木の間伐材を圧縮成型し、密度や硬さを高めたスギの木を用いることで新たな楽器づくり手法を提起する点に特徴がある。</p>
<p>研究結果</p>	<p>代表的な輸入材であるローズウッドを彼我比較対象とし、圧縮成型によりスギ材の密度をローズウッドに近いものとした圧縮スギ材をトップ板としたウクレレを製作し、ローズウッド製のトップ板を使用したものと比較した結果、各弦の基本周波数の振動モードは類似両者で類似したものとなった。また、基本周波数の音の発音特性に優れ、ローズウッドを使用した場合に比べて音圧が大きくなる傾向がみられた。しかし、圧縮スギ材を用いた場合、基本周波数の倍音の音圧の周波数依存性が変化し、ローズウッドを用いた場合は周波数に反比例して音圧が小さくなる一方、圧縮スギ材を用いた場合は必ずしもそのような傾向を示さなかった。このような結果となった原因は音響透過損失や板の共振特性にあると考えられ、両者のこれらの特性を近づけることで、今回差異がみられた倍音の振動モードや発音特性の差異を小さくすることができると思われる。</p>
<p>今後の課題</p>	<p>今後は、上述の「演奏音の響きの弱点」を補うための研究を行う。具体的には、樹脂/金属薄板の挿入による減衰比の調整、板厚向上による音響透過損失の調整により行う。また、圧縮スギ材で製作したウクレレをより多くの方に演奏して頂き、このウクレレならではの演奏音の良さの有無を併せて調べる。そして、輸入材を利用したものと同等の音色を目指すか、国産材独自の音色を目指すかを決定する。</p> <p>このような研究を経て、国産材を使いながらも、よりウクレレとして価値のあるものをつくりあげ、市販化につなげる予定である。なお、7月には国際学会でポスター発表を行い、世界中にこのウクレレを紹介する予定である。</p>

結果と考察 (1) -木材の密度-

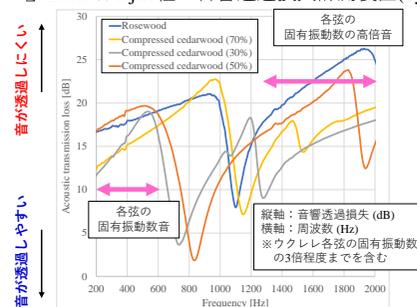
鳥津製作所製 AUW220Dを使用して10 mm×10 mm×2 mmの木片の密度を計測

種類	密度
ローズウッド	0.90 g/cm ³
圧縮スギ材 (圧縮率: 70%)	ほぼ同等 0.94 g/cm ³
圧縮スギ材 (圧縮率: 50%)	0.88 g/cm ³
圧縮スギ材 (圧縮率: 30%)	0.47 g/cm ³

圧縮成型により代表的な輸入木材である**ローズウッドと同等の密度**となることが明らかとなった

結果と考察 (2) -木材の音響透過損失-

Briël & Kjaer社の音響透過損失計測装置(Type 4206)で直径65mm 厚さ2mmの木板の透過損失を計測



わかったこと

- ・圧縮率を高めるとローズウッドの特性に近づく
- 1 kHz付近の音の透過損失レベルはほぼ等しい
- ・音の周波数が1 kHzから離れるほど両者の差が大きい
- 低周波数/高周波数の音はボディ外へ透過しやすい

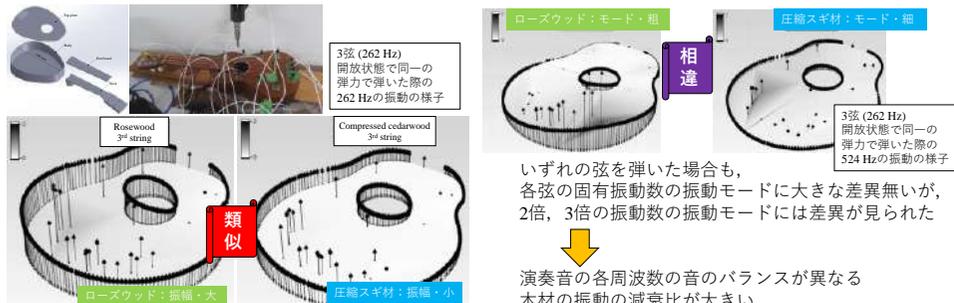


- ・固有振動数の音やその高倍音がボディ内で響きにくい
- 弦自体の音がより目立つようになる
- ・演奏時の各周波数の音の音圧の差異が大きくなる

圧縮率を高めることでローズウッドの特性に近づくが、**低・高周波数帯域ほど音が透過しやすい**

結果と考察 (3) -振動モード解析-

各弦を開放状態で弾いた時のウクレレのトップ板の振動を計測してモード解析を行った



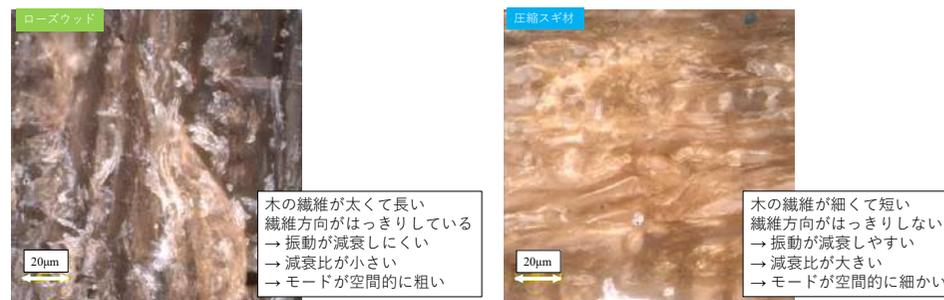
いずれの弦を弾いた場合も、各弦の固有振動数の振動モードに大きな差異無いが、2倍、3倍の振動数の振動モードには差異が見られた

演奏音の各周波数の音のバランスが異なる木材の振動の減衰比が大きい

圧縮スギ材は**振幅が小さく**、弦の固有振動数の振動形態は類似したが、**高次の振動数では異なった**

結果と考察 (4) -木材の観察-

木材の内部をOLYMPUS社製レーザー顕微鏡 OLS4000で観察



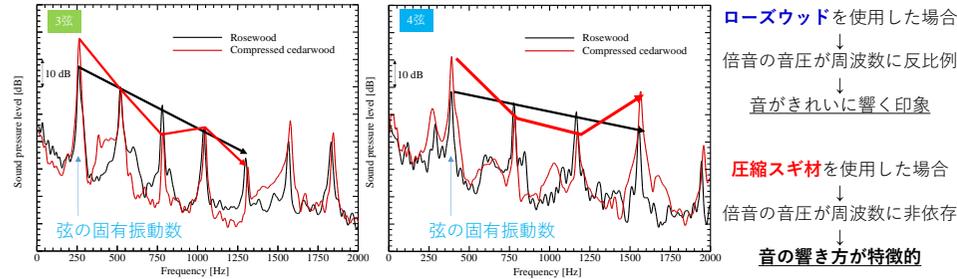
木の繊維が太くて長い
繊維方向がはっきりしている
→ 振動が減衰しにくい
→ 減衰比が小さい
→ モードが空間的に粗い

木の繊維が細くて短い
繊維方向がはっきりしない
→ 振動が減衰しやすい
→ 減衰比が大きい
→ モードが空間的に細かい

見かけ上の密度は同一でも内部の構造が異なっており、これにより**振動モードや減衰比の差異発生**

結果と考察 (5) -発生音の特徴-

各弦を開放状態で弾いた際の音をマイクロホンで計測



音響透過損失と振動特性の差異から発生音の音圧の周波数依存性が変化 → 音の響き方の印象が異なる

結果と考察 (6) -プロ演奏家による評価-

プロのウクレレの演奏家に計測結果を見せず、先入観を抜きにして試奏してもらい評価



計測データで確かめられた点がプロ演奏家の評価でも確認された

本研究で得られた知見

圧縮スギ材製のウクレレとローズウッド製のウクレレの比較を通じて

- (1) 圧縮率を高めることで輸入材の密度は同等とできた：密度同等
- (2) 音響透過損失は低/高周波数帯域で異なるものとなった：透過損失・小
- (3) トップ板の振動振幅/減衰比/振動モードのスケールは異なった：振幅・小、減衰比・大、振動・細
- (4) ウクレレの発生音の音圧や響きは異なった：音圧・小、響き・弱
- (5) プロの演奏家による評価でも上記の点が確認された：計測結果と印象評価結果が一致

輸入材製のウクレレに近づけるためには？

- (a) 圧縮成型方法の変更 (一体成型・充填剤注入)
→ 振動振幅・振動モードの空間スケールの粗大化
→ 発生音圧の改善
- (b) 圧縮スギ材の積層化 + 金属等の低減衰比材の挿入
→ 減衰比の低下による発生音の響きの改善



金属製ピックガード*
→ ボディの減衰比・小
→ 音の響き・強

(注:フローチャート図, ブロック図, 構成図, 写真, データ表, グラフ等 研究内容の補足説明にご使用下さい。)

様式-10