

センダン材利用の新たな可能性  
～EWP, 宇宙開発など～

京都大学大学院農学研究科

村田功二

京都大学宇宙総合学研究ユニット

三木健司

大建工業株式会社

大島克仁

# センダン材利用の新たな可能性 — トーンウッド、エンジニアードウッドなど —

京都大学農学研究科 村田功二  
大建工業株式会社 大島克仁

## 1. はじめに

国産早生樹センダンは奈良時代・平安時代から百万塔や仏像に使われ近世でもケヤキやキリの代替材として活用されていた。日用品の様々な製品の原料として利用されてきたが、それ以外にもさまざまな用途展開の可能性はある。たとえば弦楽器用材（トーンウッド）や内装材用途のエンジニアードウッド（EWP）などが考えられる。代表的なトーンウッドであるローズウッドやエボニーは環境保護のための伐採規制で入手が難しくなっている。そこでトーンウッドを熱帯の樹種に依存するのではなく、地域産材（ローカルウッド）に見出そうとする動きが世界各地でみられる。また、ラワン材の枯渇・伐採制限などによる用材用途としての広葉樹資源も不足している。近年のコンクリート型枠合板の価格高騰で国産針葉樹型枠用合板の開発も進んでいるが、針葉樹では代替できない用途も多々ある。国産早生樹センダンでこれらの用途の可能性を考えたい。

## 2. トーンウッド

トーンウッドに要求される性能は用途によって異なるが、例えばバイオリンの表板やピアノの響板では振動のしやすさが重要だろう。材料中での振動の伝達速度が速い方がよく、それは動的弾性率（動的ヤング率）を比重（密度）で除した比弾性率（比ヤング率）の平方根に比例する。トウヒ属のスプルースは振動の伝達

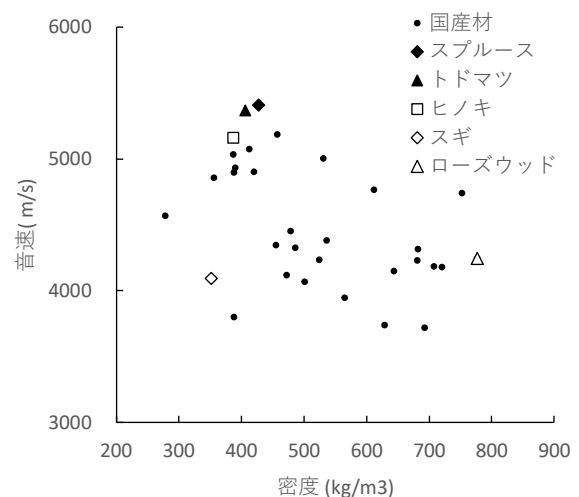


図1 木材中での音速と密度の関係<sup>1)</sup>

速度（音速）に優れる（図1）。しかし、楽器用材の用途は響板だけではなく、ギターのカポディー・ネックや木琴（マリンバ・シロフォン）、オーボエやクラリネット、太鼓（ドラム）などがあり、それぞれ要求される性能が異なる。そのためトーンウッドとしてさまざまな指標が提案されており、たとえば以下がある。

(a)比弾性率（比ヤング率）

$$E/\rho \quad (\text{音速} : C = \sqrt{E/\rho})$$

(b)内部摩擦，損失正接、対数減衰率

$$Q^{-1} = \tan \delta = \lambda/\pi$$

(c)弾性率比

$$E/G$$

(d)材料（音響）インピーダンス

$$Z = \rho \cdot C = \sqrt{E \cdot \rho}$$

(e)音響放射係数

$$R = C/\rho = \sqrt{E/\rho^3}$$

ここで  $E$  は弾性率（ヤング率）、 $G$  はせん断弾性率、 $\rho$  は密度、 $\lambda$  は対数減衰率である。

先に述べたようにトーンウッドに必要とされる特徴は用途によって異なる。また、これら測定で得られる物性値は客観的な値だが、楽器は主観的な表現で評価される。この主観的な表現と客観的な測定値は必ずしも一対一対応するわけではなく、トーンウッド適性の優劣の判断は難しい。そこで主観的な表現に影響を与える代表的な物性値を仮定し、利用実績のある輸入材との相対比較で評価を試みた。

長さ 30cm の棒状試験体に加速度センサーをとりつけ、インパクトハンマーによる加振し動的弾性率やせん断弾性率、対数減衰率を測定した。ローズウッドやマホガニー、ハードメイプルを基準にして類似性を評価することで相対的にトーンウッド適性を評価した。その結果、マホガニーと同じ科に属するセンダンは比較的马ホガニーに近い特性があり、シラカバおよびダケカンバはハードメイプルに近い傾向が得られた<sup>2)</sup>（図2）。

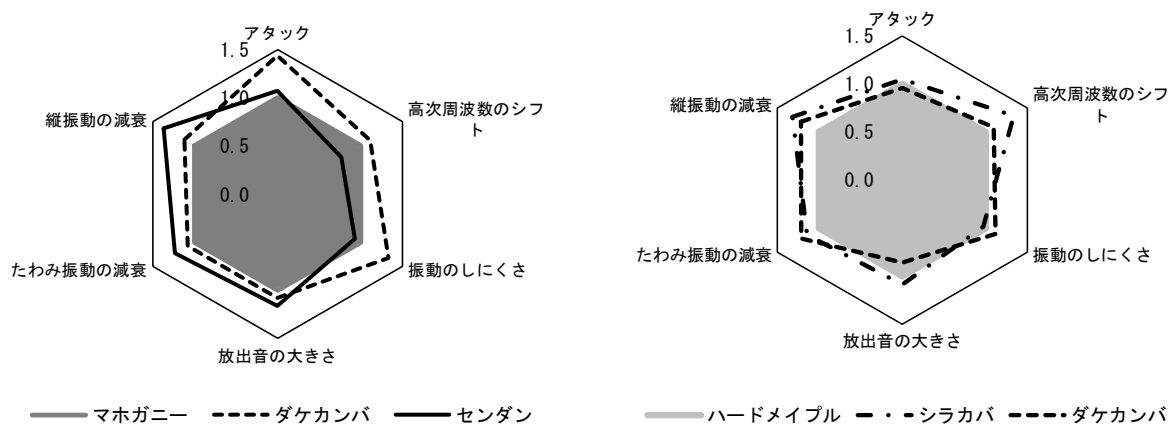


図2 マホガニーを基準としたセンダン（実線）とダケカンバ（破線）の相対比較（左）、ハードメイプルを基準としたダケカンバ（破線）とシラカバ（一点破線）の相対比較（右）

これらの結果からセンダンは、例えばアコースティックギターやエレキギターのボディやネック使用した場合にマホガニーと近い音色が得られる可能性がある。また、ダケカンバとシラカバはハードメイプルに類似するため、たとえばエレキギターに使用した場合にメイプル製ギターに似た音色になると考えられる。

実際にダケカンバをネックに、シラカバをボディに使用したエレキギターを試作すると、メイプルギターに似た硬いメタル・ハードロック向けの音色になった（図3）。ギターショップやプロギタリストからも高評価を得た。

### 3. エンジニアードウッド(EWP)

センダンなどは成長が早く、在来種の木質資源としての利用が期待される一方で、収益性の改善には小径木等の低質材の利用方法が課題となる。

これにはエンジニアードウッド(EW)が適するとされ、高性能なEW



図3 シラカバ・ダケカンバエレキギター

の開発が期待されている。EW の中でも長いエレメントを使用する LVL や PSL は曲げ強度に優れるが、一方でこれらは接着面が連続するために、木材と同様に繊維方向にはき裂が進展しやすいという短所を持つ。この欠点に対し、単板を積層方向と直交する方向に圧縮して木質積層材を作製したところ、単板の接着面がしゅう曲し、曲げ強さや寸法安定性が著しく向上したと報告されている<sup>3)</sup>。しかし最適なしゅう曲配向を得る条件や、物性向上のメカニズムは明確にはされていない。そこでしゅう曲構造を得るための最適な製造条件を検討することを目的として、エレメントがしゅう曲配向したストランドボードの試作を行った(図4)。

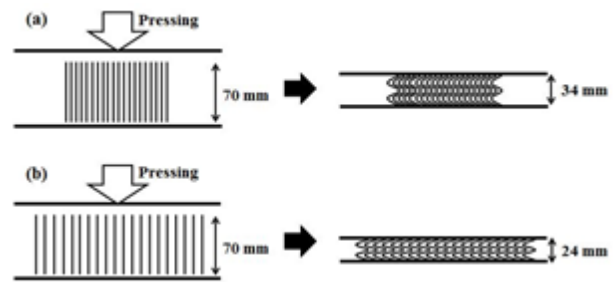


図4 褶曲配向ボードのプレス



図5 褶曲配向ボードの断面：  
上 圧縮率 51%  
下 圧縮率 66%

図5にそれぞれ圧縮率 51%、66%の作製したストランドボードの木口面断面を示す。どちらのボードでもストランドが折れ曲がった様子が見られた。また、その上下の部分ではストランドが波打った様子が見られ、ストランドとボード平面とのなす角が、圧縮率 51%のボードでより大きく、ストランドがより複雑にしゅう曲している様子が見られた<sup>4,5)</sup>。

#### 参考文献

- 1) 片岡明雄、小野晃明：木材学会誌 22(8), 436-443 (1976)
- 2) 前川遥樹, 他 2 名：第 67 回日本木材学会大会(C17-06-1045) (2017)
- 3) 大建工業株式会社：木質積層材、特開平 11-19909 号 (1997)
- 4) 宮崎薫、他 4 名：第 68 回日本木材学会大会(I14-05-0915) (2018)
- 5) K. MIYAZAKI, et al.: Proceedings of WCTE2018 (MAT-P-11) (2018)

## 宇宙における木材資源の実用性に関する基礎的研究

三木健司（京都大学宇宙総合学研究ユニット）、村田功二（京都大学農学研究科）、清水幸夫（宇宙航空研究開発機構）、稲谷芳文（宇宙航空研究開発機構）、土井隆雄（京都大学宇宙総合学研究ユニット）

### 1. 目的および背景

人類の宇宙進出に関する技術の進歩に伴い、地球外における持続可能な人類社会の形成に関する議論が頻繁に行われるようになってきており、持続可能な人間社会を形成するために欠かせない衣・食・住の確保をする資源として、植物の宇宙利用、宇宙環境耐性の研究が現在頻繁に行われている。特に、宇宙空間における社会形成の課題の一つとして、宇宙空間における食糧確保を念頭に置いた植物栽培の研究は活発に行われている<sup>1)</sup>。しかし、地球社会において住環境の基盤を支えている樹木の、建築材料としての宇宙環境下での利用に関する研究はこれまで行われていない。

宇宙空間への人類進出のための無機物質を構成要素とする材料利用に関する研究はこれまでも行われてきた[例えば宮崎(2017)<sup>2)</sup>]。しかし、人類社会基盤の形成にとって、燃料、繊維、そして建築資材として重要な役割を担ってきた樹木の地球外における利用、生産コントロールが可能となれば、地球外への社会基盤構築にとって進展が期待できる。

宇宙における樹木育成の研究は、長友<sup>3)</sup>をはじめ、例えば富田一横谷(2005)<sup>4)</sup>などが行ってきたが、未だ研究が進んでおらず、かつ、樹木の資源としての利用を議論した研究はこれまでほとんどない。

このことより、本研究では、宇宙環境の中でも、特に真空環境に着目し、真空暴露（減圧暴露）による木材の物性変化から、宇宙環境における利用に適した樹種の特定を行うことを目的とする。

樹木の減圧環境下における物性変換の研究は、主に木材の高効率な乾燥手法の開発を目的として行われてきている[例えばJiaら(2017)<sup>5)</sup>]。しかし、これらの実験は宇宙空間を模擬した減圧環境ではないため、不安定な減圧条件下における実験であり、かつ樹木の減圧による強度変化を議論したものではない。このため、本研究は木材資材の宇宙利用を試みた最初の研究となる。

### 2. 実験方法

スギ(*Cryptomeria japonica*)とブナ(*Fagus crenata*)を用いた繊維直行方向に対する物性試験を行った。試験体は100 mm（繊維方向）×10 mm（半径方向）×5 mm

(接線方向)の木材片とし(図1)、実験資材の前処理として恒温器(Yamato DKM300、ヤマト科学、東京)内で105℃の環境下で24時間の乾燥を行った後、減圧暴露を行った。木材試験体の繊維方向は試験体の長辺方向とした。

減圧暴露は、真空チェンバ(株式会社ジェック東理社、埼玉)内で行った。真空ポンプにより真空チェンバ内を約1000分の1気圧にした。減圧期間は24時間、5日間、7日間、40日間とした。また、乾燥処理前、乾燥処理後、減圧暴露後にそれぞれ木材試験体の質量を計測した。

支持間隔80 mmの2点支持により弾性試験を行うことにより、ヤング率計測を行った。弾性試験には、デジタルフォースゲージ(ZTS-500N、IMADA、愛知)を用いることによる応力測定、破壊試験を行い、荷重変位測定ユニット(FSA-1K2-5000N、IMADA、愛知)により破壊に至るまでの曲げ変位を測定することにより応力ひずみ曲線からヤング率を計算した。試験体は乾燥処理の有無、各樹種、各期間について、3試験体ずつ用意した。

### 3. 結果と今後の展望

#### 3.1 含水率変化

全ての実験について、減圧暴露実験後には、熱処理直に比べて質量が大きくなっていった。時間別、種類別では、24時間の減圧暴露ではブナは約2.5%、スギは約1.6%、5日間ではブナは約1.2%、スギは約1.1%、7日間ではブナは約0.97%、スギは約0.81%、40日間ではブナは約0.94%、スギは約1.2%、それぞれ減圧暴露後の試験体は、絶乾状態である乾燥処理後に対して質量上昇を示した。このことより、1000分の1気圧程度の減圧環境下では、空気中に存在する水蒸気の木材への結合力が働くことにより、結合水として水分が木材内部に残留する可能性が示された。また、減圧時間が長期間になるにつれ、木材試験体の絶乾状態に対する質量増加は減少する傾向が見られたため、より長期間の減圧暴露により、木材は絶乾状態へと近づく可能性がある。

#### 3.2 破壊試験によるヤング率測定

ブナ、スギについて、異なる期間減圧に暴露した試験体を熱処理の有無に分けて破壊実験し、ヤング率を計算した。

この実験の結果、減圧暴露期間の違いにより、異なるヤング率の傾向が見られたが、1)木材は節などの影響により物性個体差が



図1 弾性試験に用いる木材試験体  
スギ(上) ブナ(下)

大きい2)本実験において、5日間減圧暴露させたもののみ特異なヤング率が見られた(図2)。以上二点より、本実験において減圧環境による試験体のもつ物性の個体差を超える物性変化は試験体には現れなかったことがわかった。このことにより、40日の減圧暴露ではスギ、ブナの構造強度への影響は木材の持つ個体差に比べ十分に小さいため、減圧環境における大きな強度変化は木材には起きないことが示唆された。

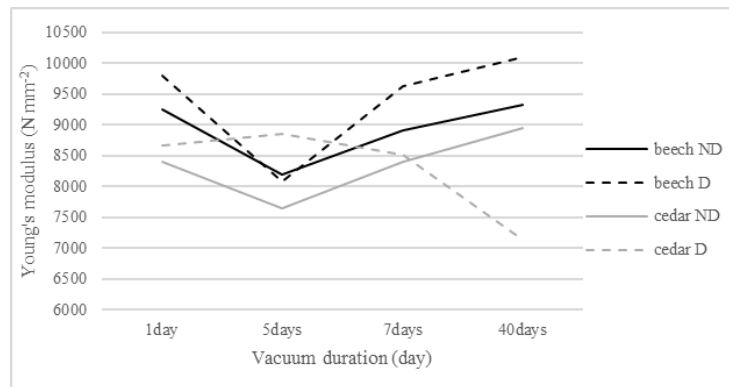


図2 ヤング率と減圧期間の関係 (ブナの乾燥処理なし (beech ND) ブナの乾燥処理あり (beech D) スギの乾燥処理なし (cedar ND) スギの乾燥処理あり (cedar D) )

### 3.3 今後の展望

本実験では、短期間減圧暴露に対する木材繊維方向への強度安定性を示唆することが出来た。しかし、異方性材料である木材の強度特性を評価するためには弱軸である繊維直交方向の物性を評価する必要がある。今後は木材の繊維方向を短辺方向とした、木材繊維直交方向への強度安定試験を行う。試験体樹種として、1) 試験体密度を揃える 2) 木質資源生産に向けた樹種を選ぶ 以上の2点を踏まえて、スギ、ヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*)、ホオノキ (*Magnolia obovata*)、センダン (*Melia azedarach*) を試験体樹種として選択する。また、これまでの実験では破壊実験を行うことにより各試験体のヤング率変化を求めてきたが、同一試験体の減圧暴露によるヤング率の経年変化を求めため、今後はさらに長期間減圧暴露して非破壊試験を行うこととする。

また、応力試験に加え、クリープ試験を行うことにより木材の非結晶構造の静的粘弾性を解析する。これより、減圧環境がもつヘミセルロースとリグニンへ

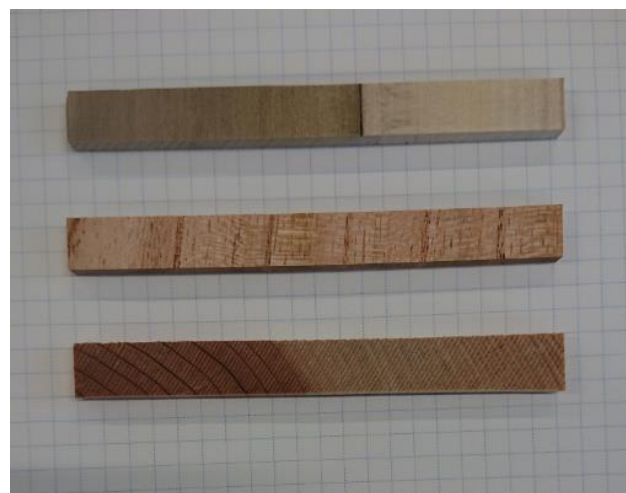


図3 非破壊木材実験に用いる木材試験体  
ホオノキ (上) センダン (中) スギ (下)



の影響を調べることができると期待される。図4は、現在、製作中の減圧下におけるクリープ試験機である。電磁石を用いた錘のコントロールにより、木材に荷重をかけるタイミングを遠隔に行えるようにすることで、真空チェンバ内において安定的したクリープ試験を行えるように設計されている（図4）。試験片上・下部に取り付けられた歪ゲージにより、クリープ特性が記録される。

#### 参考文献

- 1) Wheeler, R. M.: Agriculture for space: People and places paving the way, Open agriculture, 2, 14–32, (2017).
- 2) 宮崎英治: 宇宙環境を想定した材料評価方法, Journal of the society of materials science, 66, 262 – 267, (2017).
- 3) 長友信人: 地球外森林は可能ですか, Space Utiliz Res, 20, 136–139, (2004)
- 4) 富田一横谷香織、吉田滋樹、田村憲司、橋本博文、丹生谷博、船田良、片山健至、鈴木利貞、宮川照男、飯田正人、中村輝子、長友信人、山下雅道: 宇宙における樹木-宇宙における樹木形態形成に関する環境機能分子および樹木の応用利用, Spce Utiliz Res, 22, 311–312, (2005).
- 5) Jia, X. R., Zhao, J. Y., Cai, Y. C.: Mass and heat transfer mechanism in wood during radio frequency/vacuum drying and numerical analysis, Journal of forestry research, 28, 205–213, (2017).

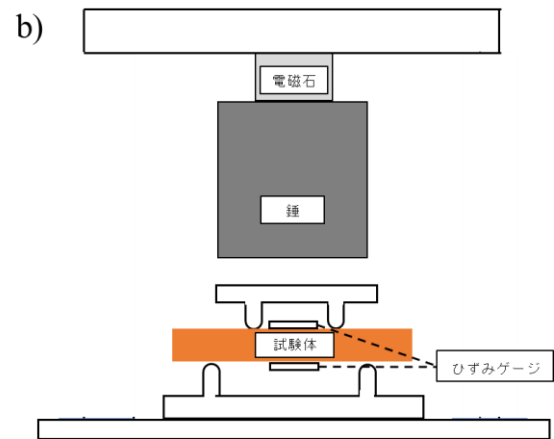
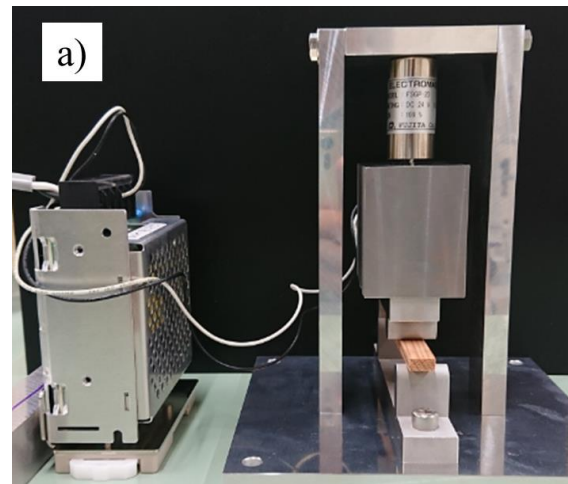


図4 (a)クリープ試験装置と(b)装置の模式図