

林産試 だより

ISSN 1349-3132



林産試験場庁舎

年頭のごあいさつ	1
地域材を用いたトドマツ圧縮材フローリングの利用事例	2
発電用バイオマスの輸入について ～PKSの供給可能量に関する一考察～（後編）	6
上川産ヤチダモ人工林材の材質評価と利用適性の検討	11
Q&A 先月の技術相談から〔構造材の長期許容応力度〕	23
行政の窓〔北海道の木育の推進〕	25
林産試ニュース	26

1

2018

林産試験場

年頭のごあいさつ

林産試験場長 及川弘二



新年あけましておめでとうございます。皆様におかれましては、清々しい新年をお迎えのことと存じます。

旧年中は、林産試験場に頂きましたご理解ご協力に、心からお礼申し上げます。

昨年は、秋田県や中国・九州北部地域などで、気候変動を想起させる集中豪雨により大きな災害が起きました。罹災された皆様方には、衷心よりお見舞い申し上げますとともに、早急な復興をお祈り申し上げます。本道では、一昨年のような大きな気象災はありませんでしたが、サケやサンマの漁獲が減少するなど、自然環境が変化していると感じさせる年でした。また、本道上空を飛行体がかすめるなど、不安定な社会情勢でもありました。一方、我が国経済は景気の拡大が続き、高度経済成長期の「いざなぎ景気」を超える戦後2番目に長い景気となり、木材の取引も活発で、林業・木材産業においても堅調に推移しました。このような中、利用期を迎えた道内の森林資源の循環利用を確実に進めていくためには、一つでも多くの新たな利用方法を開発し、道産材の需要を拡大していく必要があります。

昨年、林産試験場では、民有林の主力造林樹種であるカラマツを、建築材としての利用を広げるため、これまで正角材に限られていた乾燥技術であるコアドライを平角材に応用する技術を開発し、北海道木材産業協同組合連合会に提供しました。既に2企業において平角コアドライの生産に向けた準備が行われ、住宅1棟まるごと道産カラマツ材で建築できる体制が整いました。トドマツについても、トドマツ圧縮材フローリングを町営の保育所建設に採用して頂き、公共建築物では初めての施工が実現しました。今後、利用状況の把握などのフォローアップを図っていきますが、本格需要への期待が膨らんでいます。木材の成分利用の分野では、シラカンバを肉牛の粗飼料として利用する試験研究を進め、牛の嗜好性が高く生育状況も良好なことから、マスコミにも取り上げられ企業からの照会も寄せられました。きのこでは、道産子きのこのマイタケ「大雪華の舞1号」を乾燥させた製品が、北海道の食品機能性表示制度「ヘルシーDo」に認定されるなどしました。また、世間の耳目を集めているCLTについては、道内初のJAS認定工場の誕生を受け、意匠性に配慮した接合部の構造実証試験等を行い、この接合技術を使った町営の研修・宿泊施設の建設が進められており、CLTの生産・利用技術の向上に向けて確実に取組んできたところです。

2017年は、AI元年ともいわれました。人工知能・AIの製品化、社会実装が進み、自動車の衝突回避システムは標準化され、自動運転車の実用化も加速的に進展しています。単純作業を行うロボットから「アシモ」や「ペッパー」など考えるロボットへ、様々な作業現場でAIの導入を想定した開発が進められ、昨今では、会議に代理出席するロボットなどの研究も進められているやに聴きます。林業・木材産業の分野でも、ICTを活用した木材流通のネットワーク化の検討も行われており、今後は製造業で驚くような技術革新が進むものと予想されます。AIを搭載したハーベスターが伐採データを機械学習し、林況に応じた伐採や採材方法を自動で判断、伐採データと対となる製材加工データの分析により、立木や丸太の品質や用途が瞬時に示される、といった日もそう遠いことではないのかもしれない。

2018年は、林産試験場が北海道立総合研究機構の一員となって9年目、第2期中期計画の4年目にあたります。現計画の集大成として、戦略的に食関連産業の振興や木質バイオマスのエネルギーとしての利用に向けた試験研究と、木材の利用拡大に必要な流通加工体制の整備と需要の創出に林業試験場と一体となって取組むとともに、第3期中期計画の展開を見据え、業界のニーズと将来を先取りした課題を的確に把握するなど、林産試験場の総力を挙げて本道の林業・木材産業に貢献していきます。

「林業の成長産業化」が、国の方針として掲げられてから5年余りが経ちました。早く「化」がとれて、林業・木材産業が山村地域を次世代に継承するよう取組んで参りますので、本年も林産試験場へ変わらぬご支援ご協力を頂きますようお願い申し上げます。新年のご挨拶といたします。

地域材を用いたトドマツ圧縮材フローリングの利用事例

技術部 製品開発グループ 澤田哲則

■はじめに

北海道の森林面積は約554万haで、森林蓄積（樹木の幹の体積）は約7億8500万m³とされています。トドマツの蓄積量は約2億2700万m³で全体の3割近くを占める主要な森林資源であり、天然林が自生するとともに人工造林が進められ、資源の充実とともに循環利用が期待されています。

これらの森林資源が有効に利活用されるように、国が定めた「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」に基づき、北海道では「北海道地域材利用推進方針」を定め、道内の森林から産出され、道内で加工された木材を「地域材」と定義し、その利用の促進に関する基本的な考え方を示しています。その中では、建物の木造化に加えて内装等の木質化推進も重要な項目として示されています。

トドマツ材の主な用途は建築材（羽柄材）、梱包・仕組材、パルプチップなどで、優良なものは柱・梁や集成材のラミナとして利用され、また近年、国産材への原料転換を図る合板での利用も増加しています。しかしながらトドマツ材は軟らかく、傷つきやすいという材質的な特徴を持っており、板材とした場合には大小様々な節が目につきます。これらの特徴、外観から、壁材や床材といった人目につきやすい内装用途には広く利用されていないのが現状です。

■トドマツ圧縮材フローリング

木材の圧縮・圧密化は古くからある技術で、加熱や蒸煮などによって軟化させた板材を厚さ方向に圧縮することで体積を減じて密度を増し、表面硬さ（ここではブリネル硬さ）を高めて傷つきにくくするものです。

林産試験場では、トドマツ圧縮材の生産技術開発に取り組み、平盤ホットプレスを用い、金属型枠等

を使用しない製造技術で特許¹⁾を取得しています。この技術を用いて写真1に示すようにトドマツ板材の厚さを1/2程度に圧縮することで、フローリングによく用いられるナラ材やカバ材といった広葉樹材と同等程度の表面硬さ（約20N/mm²）が得られて傷つきにくくなります²⁾。色調も独特の淡褐色～濃褐色の落ち着いたものとなり、節も平らに仕上がって、フローリングに適した板材となります。

■南富良野町立幾寅保育所・地域交流スペースでのフローリング利用

●経緯

南富良野町では、平成28年度に予定された幾寅保育所の移転、新築において、地域材の有効活用を積極的に推進する意味から、南富良野町有林のトドマツ材を新屋舎に活かす検討をされていました。それと林産試験場のトドマツ圧縮材フローリングに関する普及情報^{3,4)}が結びつき、図1に示す地域交流スペースの約88m²に敷設することとなりました。

●材料と加工

原木は南富良野町有林からトドマツを伐採し、写真2に示すような丸太を下川町内の製材・乾燥業者に送り、厚さ35mm（乾燥後）に製材し、ヤニ抜き乾燥を施して、含水率を12%程度としたものを林産試験場へ搬入しました。

地域交流スペース

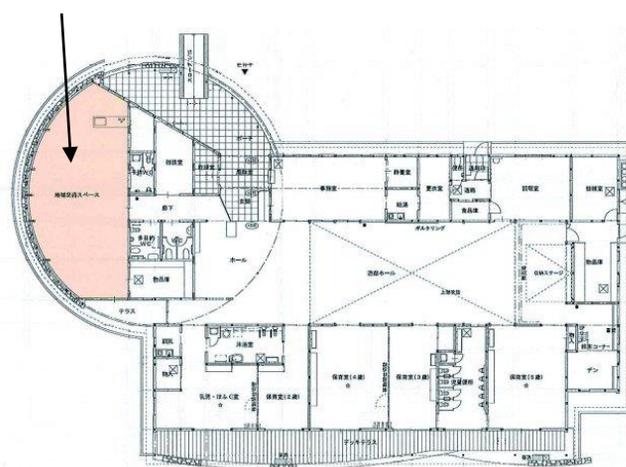


図1 南富良野町立幾寅保育所の平面概要



写真1 トドマツ圧縮材の圧縮前後の外観



写真2 南富良野町有林産のトドマツ丸太

林産試験場で写真3に示す実大ホットプレス（蒸気加熱式，熱盤サイズ1×2m，最大圧縮能力 1,200t）を用い，元の厚さの45%（15.7mm前後）に圧縮されたトドマツ圧縮材は，栗山町のフローリング製造業者で切削加工と塗装が施され，幾寅保育所に納入されました。材料の移動経路は図2に示すように，概ね530km程度であったものと考えられます。

伐採から製材・乾燥，加工までの期間が短かったため，乾燥時のイコーライジング（含水率の均一化処理）を行っても板材の板間，板内での含水率のバラツキは大きく，圧縮材の製造条件もそれに合わせて調整しながらの対応となりました。含水率のバラツキは施工後に形状変化等となって現れることも予



写真3 実大ホットプレス

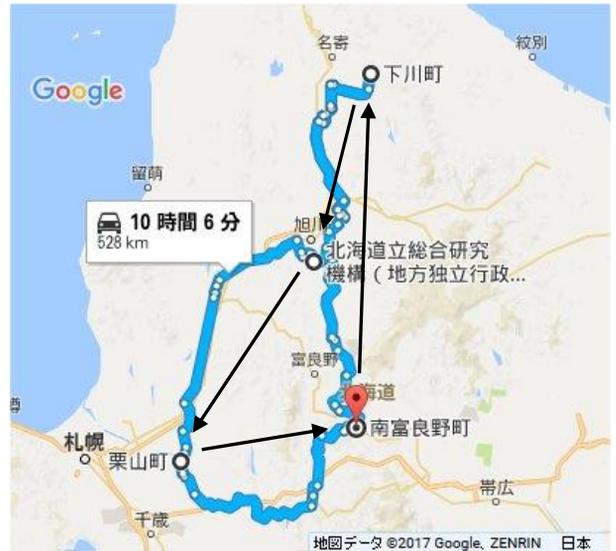


図2 材料の移動経路

見されますので，今後も継続して現地調査を実施する予定です。

●工事の進行

幾寅保育所は，平成29年2月に竣工予定でしたが，平成28年8月末に南富良野町を襲った集中豪雨で空知川が氾濫し，写真4に示すように幾寅地区の市街地をはじめとする近隣の空知川流域が泥流に飲み込まれました。激甚災害に指定され，災害復興が優先される状況で，保育所の新築工事は大幅に遅れることが予測され，平成29年度内の竣工は難しいと考えられました。

しかしながら，いち早くボランティアセンターが立ち上げられ，一般の方々の力も借りて災害復興が進められるとともに，町長をはじめ町役場や関係企業，地域住民の合意のもと，復興作業と同時進行で保育所の新築工事が進められ，建築工事は平成29年3月末に完了し，新年度（平成29年度）の入所式を新屋舎で迎えることができました。



写真4 空知川氾濫直後の幾寅地区市街地（国土交通省北海道開発局公開データより）



写真5 床暖冷房用パイプの敷設状況

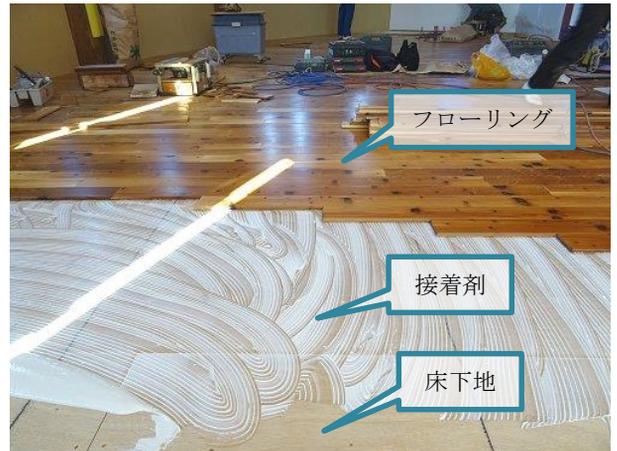


写真7 フローリングの止め付け施工

●床の構成

床はコンクリートスラブ上に、地中熱ヒートポンプを熱源とした床暖冷房用温冷水を循環させる架橋ポリエチレンパイプを写真5に示すように埋設し、シンダーコンクリートで仕上げた床スラブ上に、パーティクルボードの置床と下地合板を写真6に示すように敷設し、それを床下地としました。床下に空間を設けることは、当初から南富良野町にお願いしていたもので、コンクリートからの湿気の影響を避け、床暖冷房による温湿度変化がフローリングに及ぼす影響を緩和させるためのものです。また空間部分では荷重によって床がたわみ、転倒衝突時の床の硬さが低下して安全性が向上し、踏み心地、歩行感も良くなります⁶⁾。

●フローリング施工

トドマツ圧縮材フローリングの寸法は、厚さ15×働き幅105mm（本実仕様）で長さは乱尺です。止め付けは糊釘併用で、接着には写真7に示す1液

型ウレタン樹脂系接着剤が用いられ、エアタッカー止めとの併用とされました。

仕上がり時の床の状況を写真8に、建物の外観を写真9に示します。



写真8 床の仕上がり



写真6 床下地の施工状況



写真9 建物の外観



写真10 施設の利用状況

● 利用状況など

南富良野町のイベントカレンダーを見ると、地域交流センターの利用状況がわかります。月～金曜は、ほぼ毎日イベントで予約され、土曜も定期的に一般開放されており、使用頻度は非常に高いようです。

利用開始から5ヶ月が経過し、予備調査1回（5月）と本調査1回（8月）を実施して温湿度やフローリングの含水率、目開きなどを測定しました。予備調査時には、写真10に示すように、地域交流スペースを利用されている親子連れが多数おられ、こどもたちは裸足で遊び回り、保護者や相談員の皆さんはフローリングに直接座って談笑するという好ましい床の使われ方がされていることを確認しました。調査の結果は、さらに何度かのデータを重ねた時点で、季節変化などの考察も含めて報告したいと考えています。

■ おわりに

「はじめに」で、北海道における地域材の定義を述

べましたが、実際にその地域の拠点やシンボリックな建物に木材を大量に、あるいは象徴的に使うとなると、「道内産・道内加工」より、もっと地域が限定され、その市町村内の木材を、その市町村内の技術（工場など）で加工し、利用したいという要望が強くなるようです。今回ご紹介させていただいた南富良野町には、現在、製材・乾燥を行う工場がありません。そのため道内を材料が移動することとなり、地域材利用の実態を知る意味でも、よい事例であったと考えています。

また、トドマツ圧縮材フローリングの色調や質感、節の印象や踏み心地などは、写真や文章では伝えきれない部分の方がむしろ多いと感じていますので、是非ともご自分の目で、足で、床を確かめていただければ幸いです。

見学を希望される際は、下記にお問い合わせください。

・ 見学申込先

〒079-2403 空知郡南富良野町字幾寅708番地
南富良野町保健福祉課すこやかこども室
電話番号 0167-52-2211

■ 参考文献

- 1) 道総研，特許第5629863号「熱圧処理木材ならびにその製造方法」，平成26年10月登録（2014）
- 2) 澤田哲則，林産試だより，2012年10月号，1-3
- 3) 伊藤洋一，林産試だより，2013年2月号，5-6
- 4) 山田健四，林産試だより，2017年2月号，1-2
- 5) 地図データ：Google，ZENRIN（2017）
- 6) 小野英哲，ゆかmonthly 1993.9，87-89（1993）

発電用バイオマスの輸入について ～PKSの供給可能量に関する一考察～（後編）

利用部 資源・システムグループ 古俣寛隆

■インドネシアの再生可能エネルギー固定価格買取制度

インドネシアは、電力の需要量に対して供給量が不足しています。また、首都ジャカルタ以外では送電網がまだ十分に整備されていないため、電化率が低くなっています¹⁾。そのため、政府は民間資本の活用による電力供給量の増大を図っています。そのひとつに再生可能エネルギー固定価格買取制度（Feed-in Tariff, 以下、FITという）があり、バイオマス由来の電力も買取対象となっています。表1にインドネシアにおける直接燃焼（10MW以下）のバイオマスFIT売電単価²⁾を示しました。

10MW以下の発電所における売電単価は、低電圧連系と中電圧連系に分かれています（なお、10MWを超える発電所は交渉により売電単価が決まります）。低電圧連系の方が基本売電単価は高く、この基本売電単価に地域毎の“係数（F）”を乗じて最終的な売電単価が決定されます。電化率の低い地域では高い係数が設定され、売電単価が優遇されています。買取期間は20年ですが、期間内に単価の変更があればそれが適用される点は日本のFITと異なります。これら売電単価をインドネシアの電力購入単価の平均（1035Rp./kWh）と比較すると、中電圧連系で最大1.8倍、低電圧連系で最大2.3倍となります。ただし、インドネシア技術評価応用庁によれば、今のところ、国内FIT発電所向けにPKS（Palm Kernel Shell）が大量消費されている事例は聞こえていないとのこと。また、石炭火力発電へのPKSの混焼はFITの対象外であり、その取り組みは試験段階にとどまることでした。しかしながら、インドネシアにおいて

は、電力供給量不足に加え、地球温暖化対策についても喫緊の課題であるのは間違いなく、今後PKSの国内需要が急増する可能性は否定できません。PKSの供給可能量については、インドネシア国内の動向も注視していく必要があると思われます。

■PKSの実際の利用可能量は？

エネルギー鉱物資源省²⁾によれば、2013年のインドネシアにおけるPKSの発生量は614万tとなっています。同省に数値の根拠について問い合わせたところ、各工場の実際の発生量を積み上げたものではなく、消費されるFresh Fruit Bunch（以下、FFBという）質量の5.5%をPKS発生量として計算しており、ボイラーでの自家消費分は控除されていないことが分かりました。果たして日本での実際の利用可能量はどのくらいなのでしょう？

前報において、バイオマスボイラーを稼働させるためにはMF（Mesocarp Fiber）のみでは足りないため、産出する90%のPKSを自家消費していたパームオイル工場の事例を報告しました。ただし、この消費割合は過大である可能性も考えられました。

そこで、パームオイル工場におけるバイオマスボイラーの定常運転を仮定し、PKS自家消費率の理論値を算出しました。算出には（1）式を用いました。

$$\text{換算蒸発量(t/h)} = \{ \text{低位発熱量(MJ/h)} \times 10^3 (\text{kJ/MJ}) \times \text{ボイラー効率}(\%) / 100 \} / \{ 2257 (\text{kJ/kg}) / 1000 (\text{kg/t}) \} \quad (1)$$

前提条件は以下のとおりです。文献³⁾を参考に、換算蒸発量30t/hのバイオマスボイラーを使用して、FFBを40t/h消費する典型的なパームオイル工場を設定しました。なお、このFFB消費量とボイラー出力（換算蒸発量）の関係については、実際の必要蒸気量（実際蒸発量）は、FFB消費量1t/hあたり0.6～0.73t/hとされている^{3,4)}ことから、妥当な設定条件であると考えます。ボイラー燃料は、MFとPKSの2種類のみとし、MFから先に消費して不足する分をPKSで補うこととします。この条件で換算蒸発量が30t/hとなるときの、PKSの自家消費率を算出しました。

表1 インドネシアにおける直接燃焼（10MW以下）のバイオマスFIT売電単価

連系電圧	売電単価	単位
低電圧	1500 × F*	Rp./kWh
中電圧	1150 × F*	Rp./kWh

*F:ジャワ島:1.00,スマトラ島:1.15,スラウェシ島:1.25,カリマンタン島:1.30,バリ島・バンカ・プルトウン島・ロンボク島:1.50,リアウ島・パプア島・その他:1.60

FFBの質量に対するMF、PKSの発生率に関しては、既往の報告事例⁵⁻¹¹⁾を参考に設定しました(表2)。各工場におけるバラツキは、Dura, Teneraの品種によって副産物の構成比が異なること、分別精度や基準となる含水率が異なるためと考えられます。本推計では、単純平均値に近かったHambali E. et al.の発生率(MF:14.4%, PKS:6.4%)⁹⁾を代表値として計算しました。ここで、既往の報告(表3)をみると、発生するMFの全てが自家消費されているわけではないようです。おそらく、分別時のロス等により品質的に燃料に適さないMFが一定程度発生しているものと思われます。そこで、表3を参考にMFの自家消費率は85%に設定しました。

MFおよびPKSの低位発熱量は、文献¹²⁾よりそれぞれ11.48MJ/kg, 14.55MJ/kgに設定しました。ボイラー効率については工場によって71から84%までと差が大きい³⁾ため、70から85%までの幅を持たせて算出しました。

PKS自家消費率の算出結果を図1に示しました。PKSの自家消費率は、ボイラー効率によって大きく異なり、63~109%の範囲となりました。この設定条件においては、ボイラー効率の最も高い85%の条件においても63%のPKSは自家消費されると算出されました。ここで、既往の報告^{3,13-15)}(表3)では、PKSの自家消費率は50~80%の範囲にあります。

実際には、各工場におけるボイラー効率、単位FFBあたりの蒸気消費原単位、含水率および低位発熱量などの諸条件は様々であるため厳密な推計は困難ですが、MFのみではパームオイル工場のバイオマスボイラーを稼働できないのは確かであると思われました。

以上の結果を参考として、インドネシアとマレーシアのPKS余剰量を(2)式により推計しました。なお、PKS余剰率は(3)式のとおり定義しました。

$$\text{PKS余剰量 (t/年)} = \text{FFB生産量 (t/年)} \times \text{PKS発生率 (\%)} \times \text{PKS余剰率 (\%)} \quad (2)$$

ここで、

$$\text{PKS余剰率 (\%)} = 100 (\%) - \text{PKS自家消費率 (\%)} \quad (3)$$

各国のFFBの生産量については、FAO¹⁶⁾より2014年の値を引用しました。パームオイル工場におけるPKS発生率はFFB比6%と7%の2種類とし、PKS余剰率は20, 30, 40, 50および60%に設定しました。推計の結果、

PKSの余剰量は267~935万t/年と算出されました(表4)。

ここで、Mohannad¹³⁾は、PKSの50%の余剰のうち、20%は工程の分別ロス、品質およびパームオイル工場へのアクセスなどの問題により収集が困難であり、実際に販売可能なPKSの割合は30%(余剰となるPKSの60%)であると述べています。余談ではありますが

表2 FFBの質量に対するMF、PKSの発生率に関する既往の報告事例

引用	対FFB質量比 (%)		文献番号
	MF	PKS	
Prasertsan et al. (1996)	12.5	7.1	5)
Mahlia et al. (2001)	10.6	5.2	6)
Hayashi (2007)	14.3	6.7	7)
白井ほか (2009)	12.5	6.5	8)
Hambali et al. (2010)	14.4	6.4	9)
GIZ (2014)	15.0	6.5	10)
Uemura (2016)	12.0	5.0	11)
* 参考: ptpn7より筆者聞き取り	17.0	9.0	-

注) 最大値と最小値が示されているものは平均値を採用した

表3 パームオイル工場におけるMFとPKSの自家消費率

引用	自家消費率 (%)		文献番号
	MF	PKS	
Dit (2007)	n.d.	50	13)
Nasrin et al. (2011)	90	80	3)
	80	10注)	
	75	70	
	73	68	
	85	60	
80	60		
Setiadi et al. (2014)	85	55	14)
Aghamohammadi et al. (2016)	95	50	15)

注) MF, PKSの他にEFBの60%を自家消費している

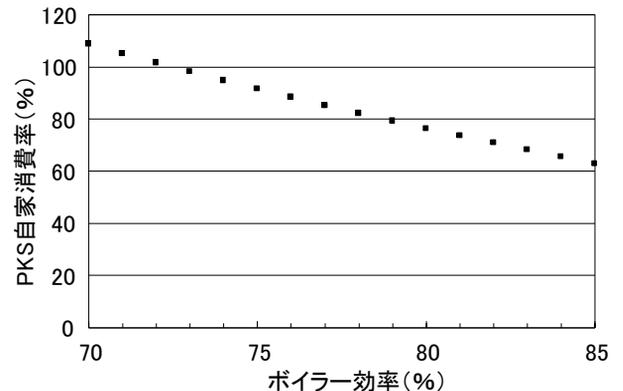


図1 パーム工場におけるPKS自家消費率の推計結果

表4 インドネシアとマレーシアのPKS余剰量

単位(万t/年)

	FFB 生産量	PKS 発生率	PKS 発生量	PKS余剰割合				
				20%	30%	40%	50%	60%
インドネシア	12,659	6%	760	152	228	304	380	456
		7%	886	177	266	354	443	532
マレーシア	9,607	6%	576	115	173	231	288	346
		7%	672	134	202	269	336	403
計	22,266	6%	1,336	267	401	534	668	802
		7%	1,559	312	468	623	779	935

が、工場へのアクセスに関しては、都市部はもとより郊外の幹線道路においても自動車とバイクが非常に多い上に、道路の舗装状態が悪い、信号がないなどの理由でしばしば渋滞が発生しており、現状では交通インフラはまだ十分に整備されていないという印象を受けました。現状では、内陸部にあるパームオイル工場からのPKSの大量輸送の実現可能性について少々の疑問を感じた次第です。

さて、両国からのPKS余剰量は最も良い条件（PKS発生率：7%、PKS余剰率：60%）においても935万t/年と推計されました。前述のとおり、実際に販売可能なPKSの割合を余剰となるPKSの60%とすれば、その量は561万t/年となります。当然のことながら、販売可能量の全てが日本向け製品とはならず、日本で実際の利用可能量は、インドネシアやマレーシア

におけるFITを要因とする国内消費、日本以外の海外の需要動向などを割り引いて考える必要があります。さらに、供給量がタイトになるにつれ価格が上昇するという可能性も十分に考えられます。

以上のことから、あくまで前報に記載した日本のPKSの年間消費量379万t/年¹⁷⁾をベンチマークとすれば、東南アジアからのPKSの日本への供給量は不足する可能性がある判断されます。

■PKS以外の有望なバイオマスは？

我が国のFITの一般木材バイオマス区分（輸入バイオマス）に該当すると考えられる、インドネシアの地域別バイオマス発生量²⁾を表5に示しました（注：「発電利用に供する木質バイオマスの証明のためのガイドライン」¹⁸⁾に基づく証明が必要）。まず、各

表5 FITの原料区分に該当するインドネシアの地域別バイオマス発生量

単位(万t)

	FITの原料区分に 該当するバイオマス	スマトラ島	カリマン タン島	ジャワ島・ バリ島・マ デューラ島	スラウエシ 島	パプア州	マルク州	ヌサ・トゥ ンガラ州	計
アブラヤシ	PKS	454	140	1	14	4	0	0	614
	MF	949	294	3	29	8	0	0	1,283
	EFB*1	1,775	549	5	55	15	0	0	2,399
	茎葉	4,942	2,350	22	218	20	0	0	7,552
	幹(植え替え時)	704	113	25	0	0	0	0	841
サトウキビ	バガス	296	0	630	30	0	0	0	956
	茎葉	218	0	474	24	0	0	0	715
ゴム	幹(植え替え時)	1,313	591	0	0	0	0	0	1,904
ココナッツ	繊維	33	6	23	24	9	12	4	112
	殻	11	2	8	8	3	4	2	38
稲	籾殻	306	89	703	146	3	3	53	1,302
	稲わら	2,141	620	4,920	945	18	20	372	9,037
トウモロコシ	コーンコブ	100	7	235	62	0	1	21	426
	茎葉	351	26	821	216	1	3	74	1,492
木材	廃棄物*2	176	38	10	14	14	3	13	268

*1: Empty Fruits Bunch

*2: wood wasteと英表記

原料における茎葉、幹、籾殻、稲わらなどは発生量が多いですが、収穫等の際にプランテーションや農地で広範囲に発生・分布するために、現実的には収集が困難であると思われます。もし、PKSの不足量が小さい場合には、不純物の割合が低く、ハンドリング性の高い木質系燃料が有望であると考えられます。現地カウンターパートからは、木質ペレットおよびブリケットの供給可能量と価格に関する話題提供があり、FOB (Free On Board, 船積み込みまでの価格) でペレットが105USD/t, ブリケットが190USD/t, 1000t/月程度の供給が可能とのことで、原料には認証を受けた植林木が使われるとのことでした。インドネシアには今のところ大規模な製造工場はないとのことでしたが、日本からのニーズが高まればペレットやブリケットによる一定程度の代替の可能性があると思われます。実際に、タイやベトナム等の東南アジア産木質ペレットの日本への輸入量は年々増加傾向にあり、現地では大型工場の建設も進んでいるようです。しかしながら、現状では発熱量あたりの単価はPKSよりも木質ペレットの方が高価であるため、発電事業者としてもその混焼割合には採算性の確保の面で上限があると考えられます。

一方、PKSが大量に不足する場合には、代替燃料として何が考えられるのでしょうか？一か所に、まとまった量が発生し、かつ未利用という条件に合致するのはEFB (Empty Fruits Bunch) しかないと思われます。ただし、EFBはアブラヤシプランテーションの栄養分として散布されているとのことでしたので、実際の利用可能量についての検討は必要です。また、高い含水率をどのように減少させるか、カサ密度の高いEFBをどのように日本まで輸送するか、採算性の合う単価で調達できるかなどの詳細な検討が必要不可欠です。

■まとめ

東南アジア地域のアブラヤシプランテーションは、1848年にギニアからボゴール植物園にもたらされた4本の苗が起源とのことでした (アブラヤシは結構長生きで、その木は1993年まで生きたそうです)。今後も、パームオイルの世界的な需要増加のトレンドは続いていくとみられ、それに伴いPKSの余剰量も増加すると思われます。しかし、パームオイル工場が発生するPKSのうち余剰となるPKSは、計算の上では最大で60%程度になるものの、実際には10%しか余剰とならない工場もあることが分かりました。パーム

オイル工場からのPKSの余剰率は、ボイラー効率や燃料の含水率などに大きく左右されるものと考えられます。FITによる自国内消費や日本以外の海外の需要動向を総合的に鑑みれば、日本へのPKSの供給は決して安定的なものではないと考えられました。パームオイル産業からのPKS以外の副産物について、大量供給が可能と思われるバイオマスとしてはEFBが有望であると思われましたが、その実際の利用については技術的、コスト的に詳細な検討が必要不可欠です。

■謝辞

現地カウンターパートのSalim氏、インドネシアのバイオマス利用全般、数値など根拠の引用などについてご指導いただいたBPPTのMaharani氏、Alfonsus氏およびEdi博士、本稿をまとめるにあたって有用なご助言を頂いたマレーシアペトロナス工科大学の上村教授、そして調査にご協力いただいた全ての事業者の方々に感謝いたします。

本調査は、(一社)木材加工技術協会の海外研究活動特別助成を受けて実施しました。ここに記し、深く感謝いたします。

■文献

- 1) DIREKTORAT JENDERAL KETENAGALISTRIKAN KEMENTERIAN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL: Statistik Ketenagalistrikan 2014, p.26 (2015)
- 2) Ministry of Energy and Mineral Resources: INVESTMENT GUIDELINES BIOENERGY IN INDONESIA, p. 49, 75-81 (2016)
- 3) A. B. Nasrin et al.: Journal of Engineering and Applied Sciences 6 (6), 433-439 (2011)
- 4) Agency for the Assessment and Application of Technology: INDONESIA ENERGY OUTLOOK 2016, p. 87 (2016)
- 5) Prasertsan, S. et al.: Biomass Bioenergy 11 (5), 387-395 (1996)
- 6) Mahlia T. M. I. et al.: Energy Conversion and Management 42, 2109-2118 (2001)
- 7) Kiichiro Hayashi: Proceedings of International Symposium on EcoTopia Science 2007, 646-651 (2007)
- 8) 白井義人ほか: 環境バイオテクノロジー学会誌, 9 (1), 3-10 (2009)
- 9) Hambali E. et al.: The 7th Biomass Asia Workshop Nov. 29 - Dec 1, Jakarta, Indonesia (2010)

- 10) GIZ: Biomass Potential Indonesian Agroindustry, p.27 (2014)
- 11) Yoshimitsu Uemura: Biomass in Malaysia: Type Potential and Available Technologies, UTP Green Technology Open Short Course26 & 27 Oct 2016, CAPE, Kuala Lumpur
- 12) Rizky Fauzianto: Journal of Sustainable Development Studies 5 (1) , 100-115 (2014)
- 13) Mohanmad Dit: Proceedings of Chemistry and technology conference, 275-287 (2007)
- 14) Tjandra Setiadi et al.: Sustainable Waste Managemant in Palm Oil Mills, 3E Nexus First Kick-off Meeting, 24-25 February, 2014 in Male, Maldives
- 15) Nasrin Aghamohammadi et al: Sustainability 8, 416 (2016)
- 16) FAO STAT
<http://Fenix.fao.org/faostat/beta/en/#data/QC>
- 17) オンサイト・レポート249号 (2016/10/19)
- 18) 林野庁HP:
http://www.rinya.maff.go.jp/j/riyou/biomass/hatudenriyou_guideline.html

上川産ヤチダモ人工林材の材質評価と利用適性の検討

利用部 資源・システムグループ 佐藤真由美

■はじめに ～広葉樹人工林？～

「広葉樹も人工林があるの？」と疑問に思われるかたもあるのではないのでしょうか。人工林といえば、北海道ではカラマツ、トドマツといった針葉樹が整然と並んでいる景色が目立つように、ほとんどの人工林が針葉樹林であることは事実ですし、これは、本州以南でも樹種がスギ、ヒノキなどに代わるだけで同じ様相です。ミズナラやハルニレといった巨木になるような広葉樹は、針葉樹に比べ、幹が太るのに長い年月を要します。植栽しても、木材としての価値が上がる太さまで育つには百年単位の時間がかかり、また、苗木のうちシカやウサギに食べられてしまうことも多いので、広葉樹は天然林で育ったものを利用するほうが得策というわけです。しかし、広葉樹材は硬さや多様な色合い、木目の美しさなど、針葉樹材には無い特質を持ち、昔から評価が高いのです。北海道開拓が本格化してから百数十年、主に試験的に植栽された広葉樹人工林は、まだ当初夢に描いた大径木には至っていません。

健全な森林資源の保続、育成が求められ、再生可能な原材料、エネルギー源ともなる木材の有効利用の要望が高まっている今日、公共建築物の木造木質化などの木材利用の推進に加え、将来にわたって持続的に木材を利用していける仕組みづくりが模索されています。建築構造材や産業資材としての需要が大きい針葉樹材は、人工林からの供給が安定化してきているのに対し、広葉樹材は、かつての過度の伐採などの要因で利用可能な天然林資源が減少しています。このため材の強さや表面の硬さが必要なフローリングなどの内装・建具や家具製造といった広葉樹材産業は、中国、ロシア、北米からの輸入材を、道産材の代替として使いながら生産を続けてきたのが実情です。ところが、自国での消費が急増した中国からの輸入が途絶え、環境保護を理由に規制の厳しくなったロシア材や北米材も次第に稀少、高価になってきており、このところ、広葉樹材への関心が高まってきました。地域の特色ある資源として、持続的に利用可能な形での供給を望む声が多く聞かれるようになっていきます。

北海道での広葉樹に関する取り組みの一つとして、上川総合振興局南部森林室では、平成28年度から「広葉樹資源の持続的利用推進事業」を実施しています。この事業では、広葉樹林に手を加え、次世代の若木から高価値を生む優良木へ育てるとともに、施業で発生する中小径材を有効利用する方法を検討しています。この事業の中で、ヤチダモ人工林で試験的に間伐を行い、次世代の若木を育てる効果があるかどうかを調べる一方で、間伐材が有効に使えるかどうかを知りたいという要望がでてきました。そこで、これらを明らかにするため材質評価と利用適性の検討を行ったので紹介します。

■材質評価の視点

木材の重さや強さなどの性質（材質）は、樹種（遺伝的特性）のほか、年齢、生育場所の土壌や気候、生育期間中の気象など様々な要因で変動するため、同じ樹種でも、生育地や個体、樹幹内での位置により異なることがあり、用途によっては、その要求性能を満たすかどうか問われます。特に、成長初期の環境条件が異なる天然生木と人工林植栽木では材質が異なると推測され、古来、良質の大径材を天然林から得てきた経験から、人工林材は材質が劣るのではないかと危惧する関係者は少なくありません。今後、木材を持続的に利用していくためには、人工林材の活用が重要ですので、このような疑問点を解決していかなくてはなりません。カラマツ、トドマツなどの針葉樹人工林材の材質はこれまでに旺盛に研究され、間伐で発生する中小径材の利用法も開発されてきました。しかし、広葉樹人工林材については、最初に述べたような理由で植栽例が少なく、試験可能な寸法に育っている立木も少ないため、比較的若い頃の成長の記録はあっても、強度などの資料が少ないのです。このため、「広葉樹資源の持続的利用推進事業」のモデル施業地であるヤチダモ人工林材の材質を明らかにするとともに、地元で特に期待されている家具用材として使えるかどうかを調べることにしました。

■試験林と供試木

事業のモデル施業地は、旭川市東旭川町内の道有林に1931年に植栽された6.56ヘクタールのヤチダモ林です(写真1)。植栽から85年間、間伐などの保育施業は行われてきませんでした。現在、平均樹高24.6m(19~28m)、平均胸高直径29.2cm(12~52cm)のヤチダモが、ヘクタールあたり300本の密度で生育しています。成長の良し悪しにはかなりの幅があることがわかります。

このヤチダモ林の材質を評価するために、胸高直径34cm以上(優勢木)、32~26cm(標準木)、24cm以下(劣勢木)の各区分から表1に示す供試木を選び、平成28年8月16日に伐採しました。

伐倒した樹幹を3mごとに切断し、切断した箇所から、厚さ5~10cmの試験用円板を採取しました。発生した丸太のうち、伐倒作業を担当した造材業者の視点から見て製材工場で利用可能と判断されたものを供試原木として林産試験場へ搬入しました(写真2)。

■原木品質

木材の利用価値が最初に評価されるのは原木の段階です。原木の品質は「素材の日本農林規格」¹⁾で規定されています。広葉樹については、直径24cm以上のものについて、節、曲がり、割れ、腐れ・虫喰い・空洞等の程度により1~4等の等級が定められています。製材や単板切削の現場では、より直径の

小さい原木も使っています。ここでは、原木の寸法、曲がり、枝痕などの節と、木口面で見られる腐れについて調査しました。

●数量および寸法

優勢木から得られた原木26本、標準木から30本、劣勢木から6本の計62本の原木について調査しました。

原木の径級は、樹幹の上方にあたる細い方の伐り口(末口)の最小径を2cmごとに、端数を切り捨てた値としました。原木の断面は必ずしも真円とは限りません。素材の日本農林規格では、最小径と最大径に6cm以上の差がある場合(最小径が40cm以上の場合には8cm以上)は、最小径に6cm(最小径が40cm以上の場合には8cm)につき2cmを加えた値をその原木の径とすることとしています。今回の原木では最小径と最

表1 供試木の概要

No.	直径区分	樹高(m)	胸高直径(cm)	備考
1	標準木	26.8	26	
2	優勢木	28.8	42	
3	優勢木	28.7	36	根元腐れ
4	優勢木	26.8	40	
5	標準木	28.8	32	
6	標準木	28.7	28	
7	標準木	28.8	26	
8	標準木	28.1	32	
9	優勢木	27.8	34	
10	標準木	27.2	28	
11	劣勢木	23.9	18	
12	劣勢木	19.7	16	
13	標準木	29.6	28	
14	優勢木	29.3	36	
平均		27.4	30	

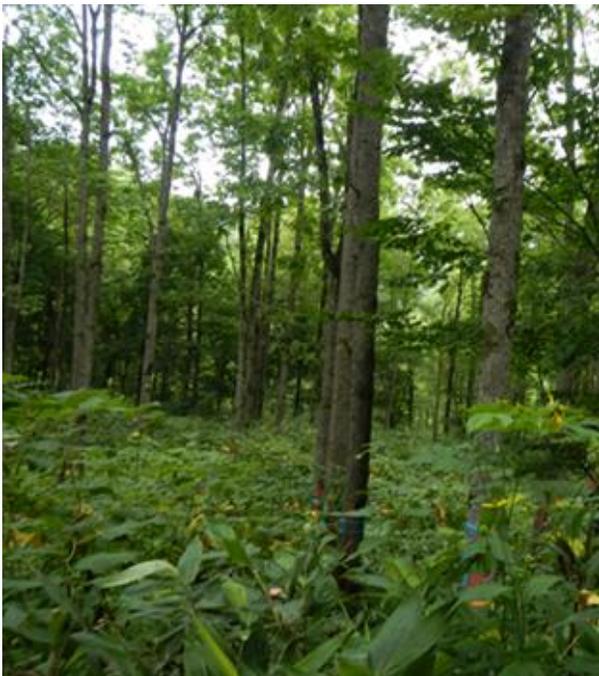


写真1 試験林分概観(伐採前)



写真2 供試原木(一部)

大径の差が6cmを超えたものはなく、真円に近い断面を持つ原木といえます。原木径級の平均は23cm (10～32cm) でした。広葉樹素材として木材利用の目安となる直径24cm以上の原木は30本で、全体の半数近くとなりました (図1)。

原木の長級は、20cmごとに、端数は切り捨てた値としました。材質調査と製材用途での評価のため、3mごとに切断した上で試験用円板を採取し、長級の平均は2.7m (2.2～3.0m) でした。今回得られた原木62本の長級と径級に基づく総材積は9.146m³となりました。

●原木の曲がりなど

原木の曲がりについては、素材の日本農林規格に定める測定方法に従い、原木末口径に対する内曲面の最大矢高の割合 (%) としました (図2)。同規格の対象となる径級24cm以上の原木30本については、曲がり率は平均で9.2%、最大22.8%であり、曲がりに基づく等級は、1等が24本、2等が5本、3等が1本でした。3等となったものは優勢木の地上高14～15mに相当する細い原木で、曲がり率が2か所あるものでした。曲がり率が大きい原木は樹幹上部で、枝分かれ、幹分かれに起因するものに限られていました。

節は径級24cm以上の原木30本のうち7本に認められました。腐れについては、樹幹上部 (地上高6～10m) で枝痕から腐れが入っているものが優勢木、標準木でそれぞれ1個体ずつ、樹幹下部で樹幹の中心に腐れがあるもの (心腐れ) が標準木で1個体ありましたが、いずれも局部的なもので樹幹全体には及んでいませんでした。今回は試験の都合上3mの長さで採材しましたが、通常の出伐採であれば、枝や腐れの部分を外して採材するため、原木の等級を落とすことはありません。

ヤチダモは広葉樹の中では比較的通直完満な樹幹を作りやすい樹種です。今回の供試木も、曲がり率が少なく円筒形に近い良質な原木が多く得られました。

■樹幹解析

先に述べたように、材質は樹木の成長の歴史に影響されます。生育場所を移動できない樹木の成長は、その土地の土壌や気候も反映するため、森林の経営方針を決める上でも重要な情報となります。供試木の成長経過を知るために、地上高3mごとに採取した円板を使い、全ての年輪の幅を測定しました。同じ年の年輪を地上高の順番でつなぎ合わせると、樹木の一生にわたる樹高と直径の成長経過が見えてきます。これが樹幹解析です。

優勢木、標準木、劣勢木の区分ごとに、平均値を用いて描いた樹幹解析図が図3です。優勢木と標準木は、植栽後30年頃に樹高20m前後に達し、胸高直径では優勢木で20cm、標準木で15cm程度まで太っていましたが、劣勢木は、同じ頃には樹高10m、胸高直径は10cmに満たない状態でした。植栽後30年頃には既に差が出ていたのです。

樹高の推移を取り出したのが図4です。樹高は40年目までに大きく伸び、それ以降の成長は緩やかで、50年を経過するとほぼ一定のペースとなって現在に至っていました。

地上高3m付近の年輪幅の推移を、優勢木、標準木、劣勢木の区分ごとに平均して示すと図5になります。この地上高での年輪幅の平均値は優勢木1.9mm、標準木1.5mm、劣勢木0.9mmで、全ての供試木を平均すると1.4mmでした。また、東西南北の方角による年輪幅の違いはほとんど見られませんでした。植栽直後には優勢木の直径成長が旺盛でしたが、植栽後約10～

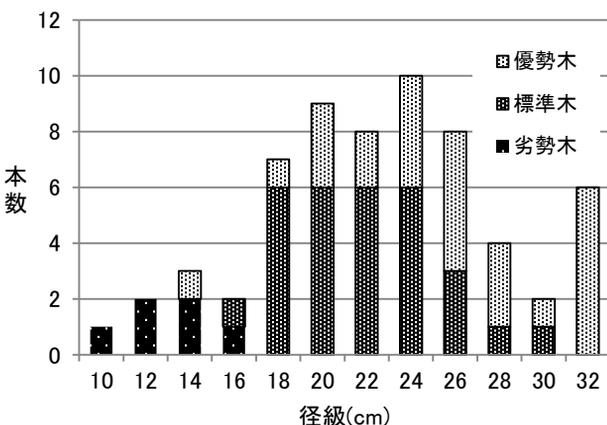


図1 原木の径級分布

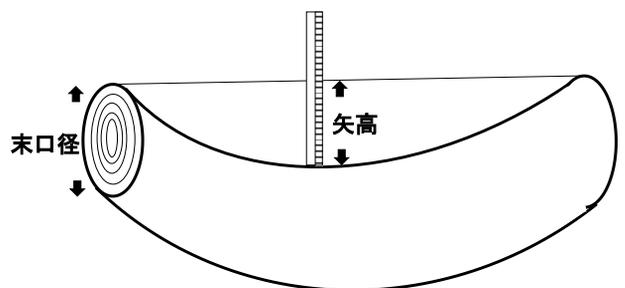


図2 原木曲がりの測定

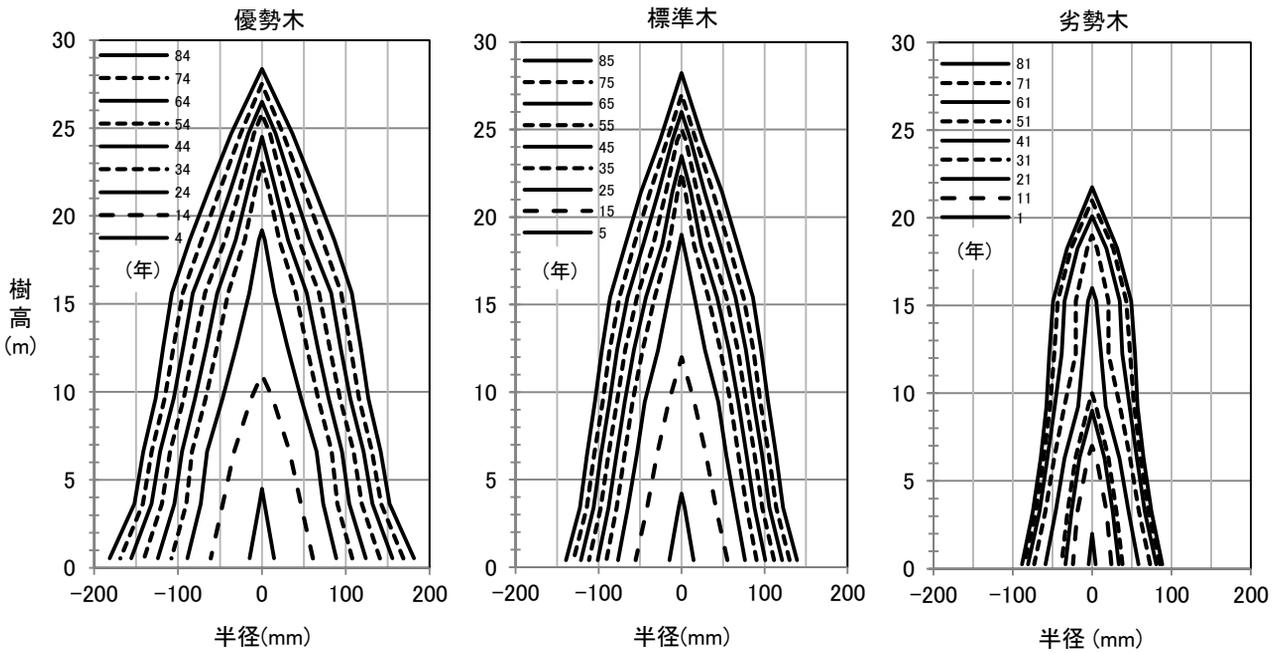


図3 樹幹解析図

30年の間は優勢木と標準木は同様の年輪幅で推移し、約30年目以降、優勢木の年輪幅が標準木より大きい期間が続いていました。標準木は約30年目以降に年輪幅が1mm程度となってその後は安定しており、これは、道有林空知管内のヤチダモ人工林の標準木と同様の値でした³⁾。一方、劣勢木は植栽直後から年輪幅が狭くなり、20年目頃から持ち直しましたが、約30年目以降はどんどん狭くなっていました。樹高で

も直径でも植栽後20~30年前後に何らかの変化が見られ、ヤチダモの成長がこの年齢から安定するのか、または、この頃(1950~60年代)に、この林分で何らかの環境変化が起こっていたのかも知れません。これを明らかにするには、さらに他の地域の植栽木の記録を集め、また、過去の気象のデータなども組み合わせて研究していかなければなりません。

樹幹解析の結果の一つとして、毎年の樹木全体の木材量を表す材積が算出されます。樹木がどれだけの木材を作り出してきたか、その歴史を知ることができます。図6に材積総成長量の推移、図7に10年間ごとの材積平均成長量を示します。伐採時の材積は立木1本あたり平均で優勢木が1.1m³、標準木が0.71m³、劣勢木が0.22m³と計算されました。優勢木、標準木は植栽後20年までに一気に材積を増し、それ

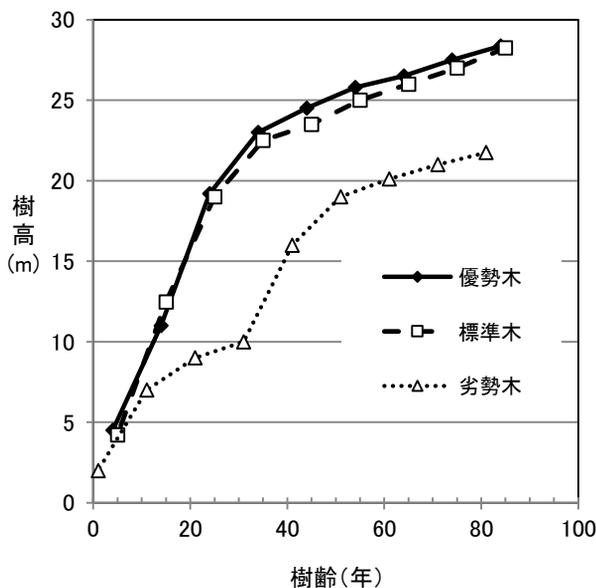


図4 樹高の推移

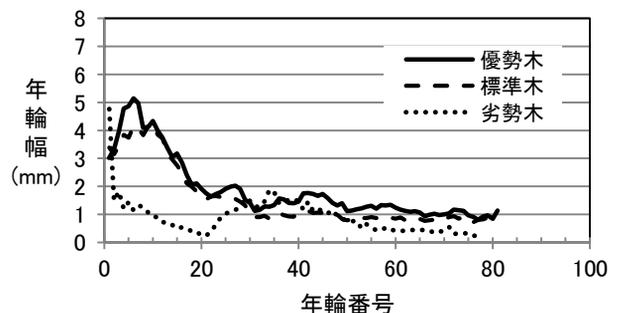


図5 年輪幅の推移 (地上高3m)

以降も増大していましたが、劣勢木は30年まで材積成長量は小さく、60年目辺りで最大となった後は減少していきました。平均成長量（図7）は樹齢が高くなるとピークに達した後、減少していくのが普通ですが、優勢木と標準木ではピークが見られていないことから、今後も成長できる状態であると考えられますが、劣勢木は成長が衰えつつある可能性が高いといえます。

もうひとつ、最近の成長の度合いを示すものに、樹幹外層部の新しい材部である辺材の幅があります。

図8に地上高ごとの辺材年輪数の推移、図9に同じく辺材幅を示します。辺材部の年輪数は、地際付近と梢端部を除けば、優勢木、標準木、劣勢木とも大きく変わらず約20~25年前後でした。この年数が、この林分のヤチダモでは、成長の良否にかかわらず新しくできた木部が心材に移行するまでに要する年数ということです。しかし、優勢木と標準木は樹高20mまでは辺材幅は約19~25mmですが、劣勢木では10~15mmと狭く、辺材部の平均年輪幅は、優勢木で1.2mm、標準木で0.9mm、劣勢木で0.6mmでした。最近20~25

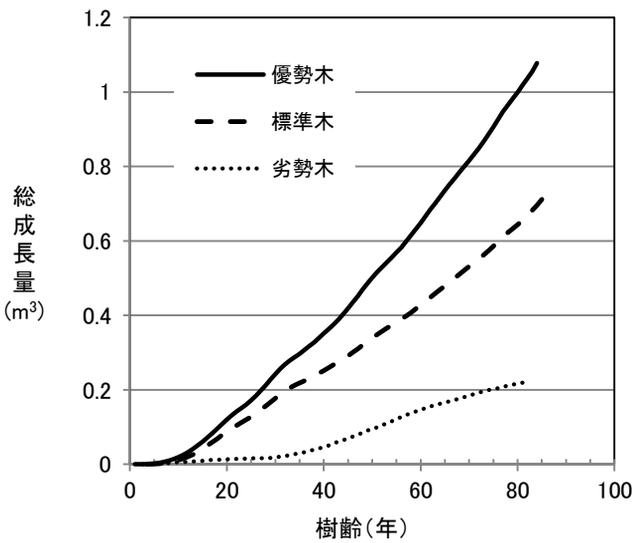


図6 材積総成長量の推移

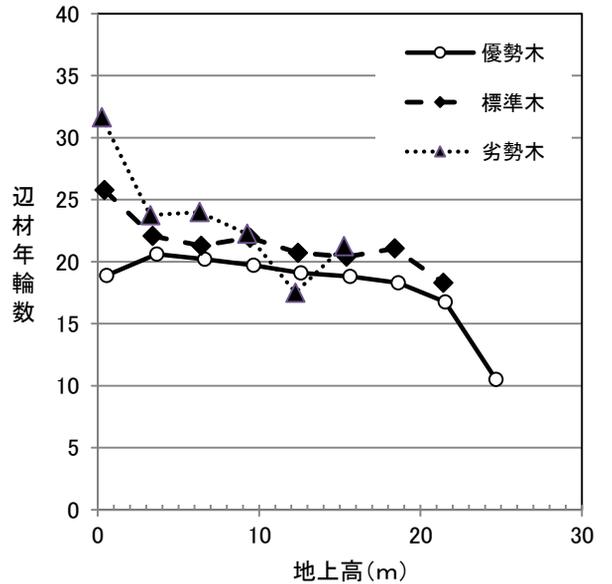


図8 地上高ごとの辺材年輪数の推移

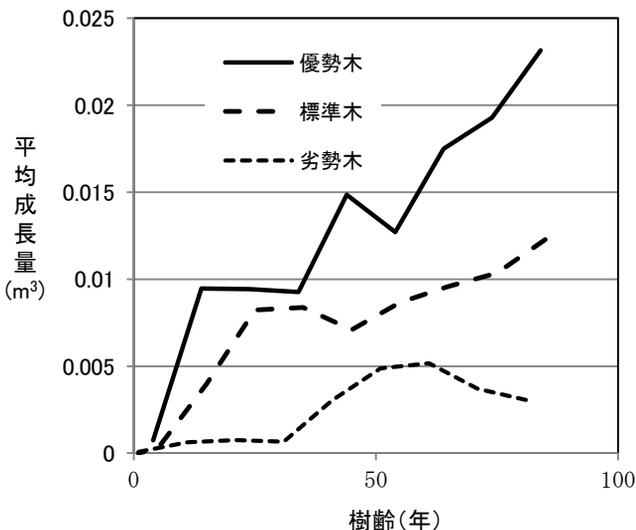


図7 材積平均成長量の推移

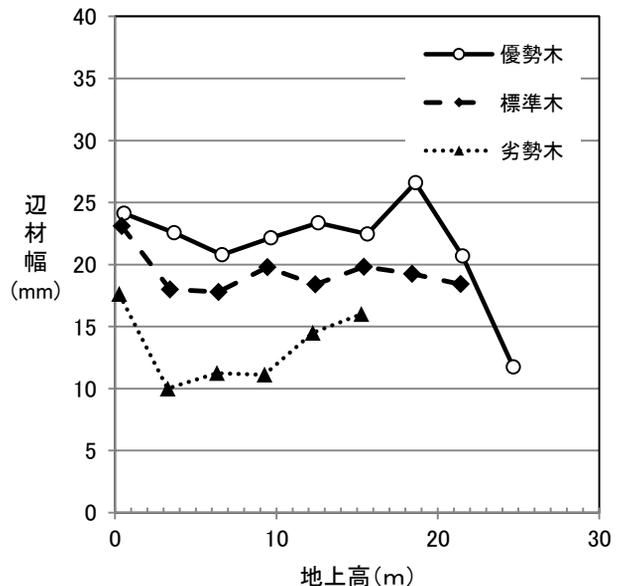


図9 地上高ごとの辺材幅の推移

年間、劣勢木の直径成長量が小さくなっていることが、ここからもわかります。

ところで、木材を利用する側からみると、通常は、腐れやカビによる変色、ヒラタキクイムシなどの食害に対して耐久性の高い心材が多いほうが有利です。図10に地上高ごとの心材率の推移を示します。優勢木と標準木は、比較的径の大きい原木となる地上高15mまでは60%以上あり、劣勢木でも、地上高3mでは優勢木、標準木と同じく70%を超えていました。製材工場で受け入れ可能な径級18cm以上の原木であれば、概ね、60～70%の心材率があることがわかります。

■基礎材質調査

●容積密度数

容積密度数は、水分を十分に含んだ状態での体積と、含水率0%まで乾燥した時の重さから導かれる木材の密度を表す値の一つです。密度は、強度その他の性質と強い関係性があるので、重要な指標となります。

優勢木、標準木、劣勢木の区分ごとに平均した容積密度数を表4に示します。優勢木の容積密度数は天然林材における既往の値(536～550kg/m³)⁴⁾と同程

度とみなせますが、標準木はやや低く、劣勢木の値はより低めでした。なお、東西南北の方角による容積密度数の差異は見られませんでした。

ヤチダモは、春先の成長が始まる時に大きな道管を作り、その後は小さめの道管と繊維などの密度の高い細胞を作る、環孔材と呼ばれる樹種であり、早材部に大型の道管が同心円状に並列しています(写真3)。環孔材一般の性質として、密度の低い早材部は年輪幅に関わらずほぼ一定の幅をとることから、年輪幅すなわち直径成長の良否により材の密度に変動を生じます。年輪幅の極端に狭い部分ではほとんど大型の道管のみからなる低密度な材となり、年輪幅の広い部分では、高密度な部分の比率が増える結果、高密度な材となるのです。容積密度数と平均年輪幅の推移を見ると、成長初期は年輪幅が広く、かつ容積密度数も大きいですが、成長が進み年輪幅が狭くなるに従い、容積密度数も減少しており、一般的な傾向でした(図11)。

●生材含水率

樹木は伐採されるまでは生きているので、内部に多少とも水分が存在します。木材製品を作る時は、腐朽やカビを避けるため、また、後の水分変化で変

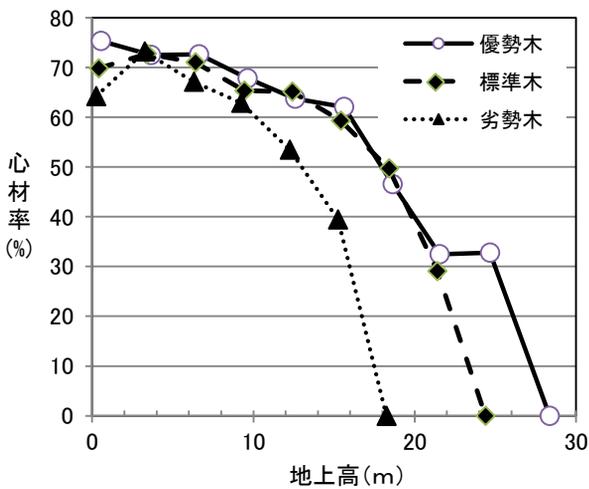


図10 地上高ごとの心材率の推移

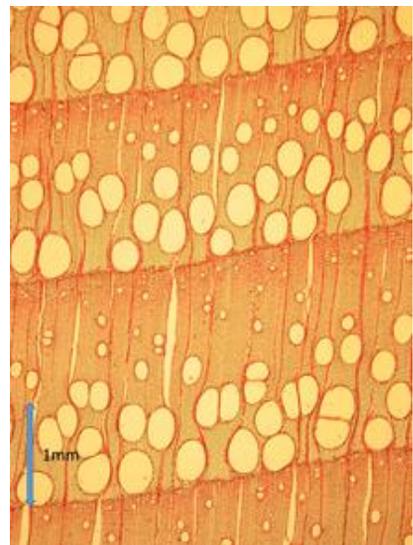


写真3 ヤチダモ材の横断面(光学顕微鏡)

表4 容積密度数の平均値

	優勢木	標準木	劣勢木	平均
容積密度数(kg/m ³)	546.0	511.1	482.0	521.4
標準偏差	53.8	62.6	66.6	63.3

形するのを避けるために、乾燥してから使うので、元々の水分が多いと乾燥する際に注意が必要となります。多くの樹種は幹の中央部（心材）は水分が少なく、生きている組織に近い樹皮の直下（辺材）の水分が多いのですが、ヤチダモは多湿心材といい、心材が辺材より水分が多いことが知られています。今回の供試木でも心材の方が辺材より高い結果となっていました（表5）。また、樹幹下部の方が上部より含水率が高くなっていました（図12）。優勢木、標準木の含水率はほぼ同様の値を示し、劣勢木は若干高めでした。蕪木の報告⁵⁾の人工林材における樹高15mまでの範囲と比べると、今回の供試木の心材含水率はやや高めですが、矢沢らの報告⁶⁾の同範囲に

対しては同様な傾向でした。

● 収縮率

木材は、含まれる水分の量により伸び縮みします。乾燥した時にどれくらい縮むかを知ることは、木製品が湿度により変形して使用上困ることが無いようにするために重要です。

表6に試験体の平均年輪幅、気乾密度及び体積全収縮率、表7に半径、接線方向の全収縮率と平均収縮率を示します。半径方向と接線方向のそれぞれの収縮率は優勢木から劣勢木までほとんど変わらず、天然林ヤチダモ材の文献値（平均収縮率：半径方向0.17%、接線方向 0.31%）⁷⁾とほぼ同程度でした。全収縮率、平均収縮率の半径方向と接線方向の比は、どの位置

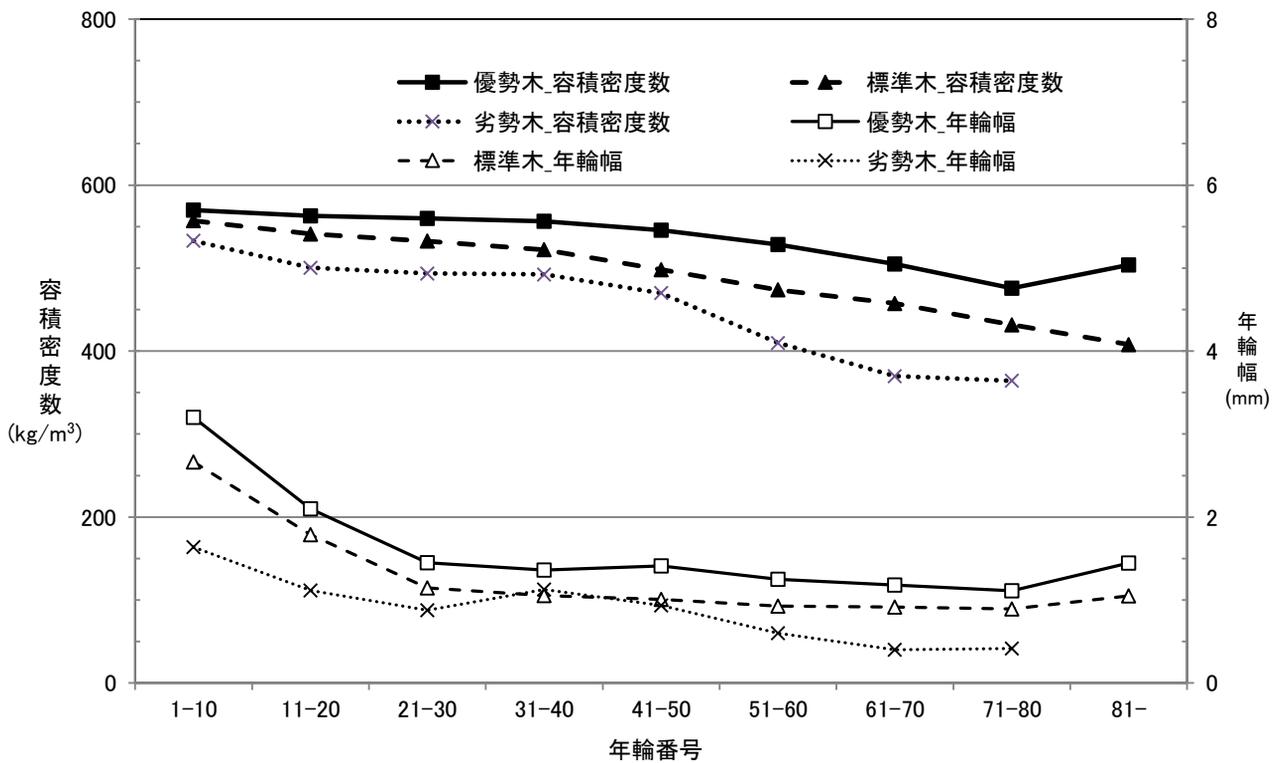
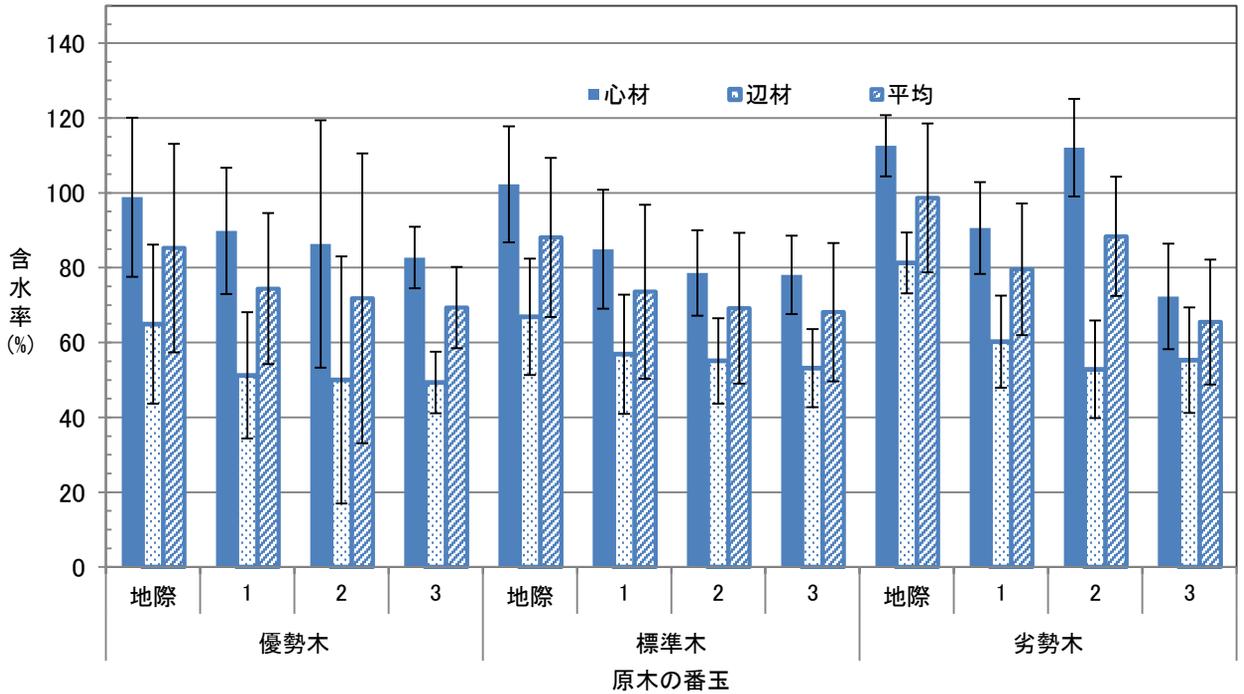


図11 年輪幅と容積密度数の推移

表5 含水率の平均値

	含水率(%)			標準偏差		
	心材	辺材	平均	心材	辺材	平均
優勢木	88.1	54.4	74.6	14.1	9.0	20.6
標準木	85.6	57.7	74.4	16.0	10.1	19.5
劣勢木	94.3	64.3	82.1	26.7	19.3	28.1



※ 原木長さは3m、含水率は各原木の末口での値

図12 地上高ごとの生材含水率

表6 半径、および接線方向収縮試験片の平均年輪幅、気乾密度、および体積全収縮率

	試験体数	平均年輪幅 (mm)		気乾密度 (kg/m ³)		体積全収縮率 (%)	
		平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
優勢木	120	1.52	0.26	701	35	16.63	1.88
標準木	160	1.75	0.44	655	45	17.02	1.25
劣勢木	12	0.97	0.00	620	7	15.41	0.25

表7 半径及び接線方向の全収縮率及び平均収縮率

	半径方向全収縮率 (%)		接線方向全収縮率 (%)		含水率1%に対する平均収縮率 (%:半径方向)		含水率1%に対する平均収縮率 (%:接線方向)	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
優勢木	5.52	0.68	11.77	1.44	0.19	0.02	0.34	0.03
標準木	5.46	0.71	12.23	0.84	0.18	0.03	0.33	0.03
劣勢木	5.77	0.21	10.23	0.21	0.19	0.01	0.29	0.02

でもおよそ1:2で、これも文献値と同様でした。表8に繊維方向の収縮率を示します。ヤチダモも他の樹種と同様、繊維方向の収縮率は半径、接線方向の1/10以下でした。

●強度性能

多くの広葉樹材は、針葉樹材に比べ、密度が高く優れた強度性能を有します。しかし、先に述べたように、同じヤチダモ材でも密度の変動があり、密度は強度性能に影響します。今回の供試木の強度性能を調べるため、日本工業規格の木材の試験方法JIS(Z2101)に基づいて、曲げ試験、縦圧縮試験を行いました。

曲げ強度試験体の平均年輪幅、試験時密度及び含水率を表9に、試験結果を表10に示します。優勢木と標準木では、曲げ性能はほとんど変わりありませんでしたが、優勢木と標準木に比べると、劣勢木は1割ほど低い結果となりました。一般に、強度性能は材の密度と比例する傾向がありますが、気乾密度にはほとんど差がないので、劣勢木では樹幹中心部に形成される、材質が安定しない未成熟材

が多く含まれた可能性があります。天然林材の文献値(MOE 9.5 kN/mm², MOR 95 N/mm²)⁷⁾と比較すると、人工林材はいずれも1~2割ほど高い値でしたが、今回の試験では含水率が10%前後と文献値の15%より低かったことを考慮に入れると、人工林材の曲げ強度性能は天然林材とほぼ同程度と考えられます。

打撃音法による原木の動的ヤング係数の測定は、針葉樹人工林から伐出される原木について、非破壊で材の強度性能を予測する手段として普及してきていますが、広葉樹原木についてはほとんど実施されていません。ヤチダモ材は強度性能を要求される用途に多く用いられるので、この手法が応用できれば、原木の評価に役立つと考えられます。そこで、原木調査の時に動的ヤング係数の測定を行いました(写真4)。その結果、原木ヤング係数は曲げヤング係数の原木ごとの平均値と相関があることが示されました(図13)。今後さらに事例を増やし、広葉樹でも原木ヤング係数を測定することで強度性能を推定できる可能性が示されました。

表11に縦圧縮試験の結果を示します。縦圧縮強度

表8 繊維方向収縮率

	試験体数	平均年輪幅(mm)		気乾密度(kg/m ³)		繊維方向全収縮率(%)		含水率1%に対する平均収縮率(%;繊維方向)	
		平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
優勢木	52	1.71	0.43	709	31	0.23	0.09	0.013	0.004
標準木	58	1.91	0.55	700	26	0.36	0.10	0.017	0.013
劣勢木	12	1.07	0.00	618	22	0.34	0.08	0.017	0.004

表9 曲げ試験体の平均年輪幅、気乾密度及び含水率

	試験体数	平均年輪幅(mm)		気乾密度(kg/m ³)		含水率(%)	
		平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
優勢木	61	1.30	0.17	670	39	9.67	1.50
標準木	93	1.21	0.28	660	43	9.89	0.33
劣勢木	25	1.14	0.39	672	33	10.41	0.21

表10 曲げ試験結果

	曲げヤング係数(kN/mm ²)		曲げ降伏強度(N/mm ²)		曲げ強度(N/mm ²)	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
優勢木	12.19	1.38	65.9	7.8	115.0	11.9
標準木	12.75	1.39	62.4	9.7	115.2	13.7
劣勢木	10.93	1.74	51.7	10.4	102.8	15.9

は成長の良否に関わらずほぼ一定の値でした。天然林材の文献値(44 N/mm²)⁷⁾と比較すると、曲げ強度試験と同様に2割ほど高い値でしたが、含水率の補正をするとほぼ同程度となりました。

ヤチダモ材の従来の利用方法のなかでも強度が必要な手摺や階段板、スポーツ器具、椅子やテーブルの脚部などに使うには、年輪幅が広く強度性能で優位な材質が活かされる一方、高密度であるため加工

しづらい、変形が大きくなるといったデメリットもあります。経験的に、年輪幅1.2mm程度のものが、いろいろな用途に対応できるとされていますので、今回の試験地では、現在までに平均以上の肥大成長を遂げている優勢木、標準木は、長期にわたり1mm前後の年輪幅を保持しており、密度、収縮率、強度性能とも今までに知られている天然林を含めたヤチダモの材質とほぼ同等ですから、今後も同様の肥大成長が続けば、利用しやすい材質の大径材に育つ可能性が高いと考えられます。一方、現在までに平均以下の胸高直径にとどまっているものは、内部に極めて低密度の年輪幅の狭い部分があり、また、最近に至って成長が鈍化し、今後のさらなる成長は期待できないため、積極的に間伐すべきと考えられます。

■家具への利用適性試験

旭川近郊を中心とする上川地域では、以前は天然林から豊富に得られた多彩な広葉樹材を背景として、家具製造が主要な木材産業のひとつとなっています。近年では、クローゼットなどの造り付け家具の普及や、フローリング仕様などの生活様式により、箆笥などのいわゆる箱物家具から、テーブル、椅子などの脚物家具へと需要が移っています。椅子は、人が座りその荷重に耐える強度が必要です。また、曲線を用いるデザインが多く、脚の部材は切削により製作される場合が多いため、目切れによる強度低下が想定されます。また、昨今の消費者ニーズが高いスタイリッシュなデザインは、細い部材の組合せとなるので、部材同士の接合部の強度も重要です。今まで天然林材で製造してきたものを、人工林の中小径木を材料とする場合に、製品としての性能が十分得られるか検討する必要があります。そこで、旭川家具の製作指導、製品評価をしている旭川市工芸センターの協力を得て、今回採取したヤチダモ人工林材を用いて椅子を製造し、家具への利用が可能か検討しました。



写真4 打撃音法による原木動ヤング係数の測定

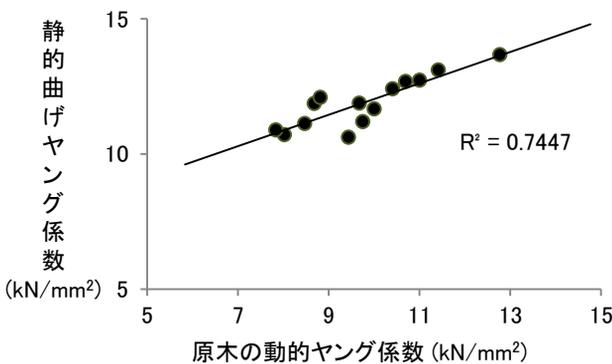


図13 原木の動的ヤング係数と静的曲げヤング係数の関係

表11 縦圧縮試験体の平均年輪幅、気乾密度、含水率及び縦圧縮試験結果

試験体数	平均年輪幅 (mm)		気乾密度 (kg/m ³)		含水率 (%)		縦圧縮強度 (N/mm ²)		
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	
優勢木	12	1.17	0.32	709	40	10.6	0.3	61.2	6.8
標準木	45	1.33	0.35	663	49	10.6	0.5	59.4	4.8
劣勢木	18	1.29	0.51	688	24	10.5	0.2	57.4	5.7

●接合部性能試験

接合部の強度を評価するため、図14のT字型試験体を作製しました。接合にはαオレフィン系の接着剤を使用しました。試験体を治具にセットし、胴付面から250mmの位置を荷重点として、3mm/minの速度で荷重を加えました。比較のため、一般的な椅子製造に用いられるナラ材についても同様の試験を行いました。

試験結果をナラ材のそれと合わせて表12に示します。今回のヤチダモ人工林材は、ナラ材とほぼ同じ値を示し、ナラ材と同様に椅子製作が可能であることが示されました。

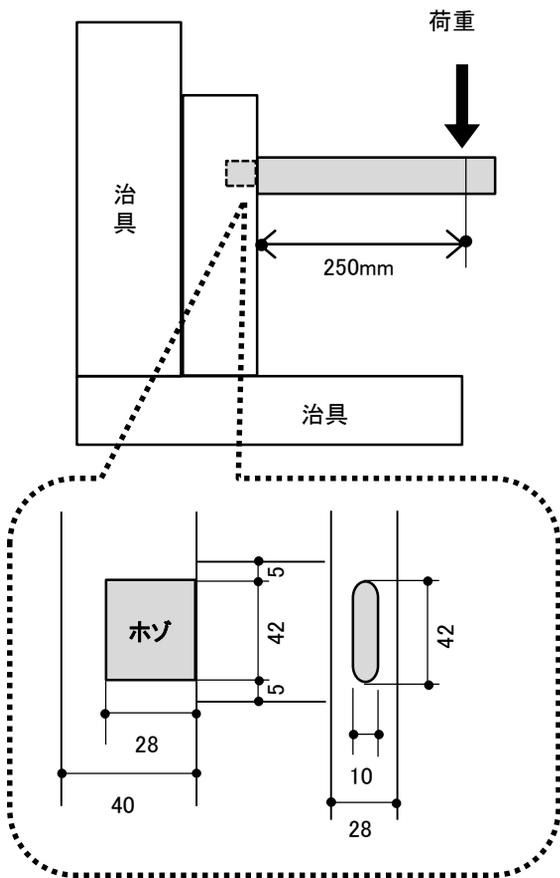


図14 接合部強度試験

●椅子の試作および性能試験

供試材で製作した椅子の性能を評価するため、旭川市工芸センターで家具製造業者の研修課題として定型の椅子(写真5)を製作しました。この椅子は、曲線の部材を使用し、一般的なホゾの仕口となっているため、原料木材の性能を評価する上で妥当な製品と考えられました。

試作した椅子の強度を確認するため、座面におもり60kgを載せ、後ろ脚下端を固定し、背を後方に引っ張り、前脚を30mm引き上げた状態から落下させる動作を1分間に20回の割合で4000回繰り返しました(写真6)。これは以前、椅子の性能を保証する家具業界の規格試験として行われていた方法です。

製作した椅子は、繰り返し衝撃荷重試験終了後全ての接合部に緩みやガタは見られず、十分な強度を有していることが確かめられました。

今回供試したヤチダモ人工林材は、椅子部材として十分な材料強度を有しており、一般的な部材寸法、接合部を持つ椅子の設計が可能でした。また、椅子の性能からテーブル等に対しても十分な強度が得られると考えられますが、テーブルの天板などは、寸法安定性や表面硬さなど異なる性能が求められることから、製品にあった性能を個別に評価する必要があります。



写真5 試作した椅子

表12 接合部強度試験結果

	ヤチダモ		ナラ	
	最大荷重 (N)	変位-強度 (N/mm)	最大荷重 (N)	変位-強度 (N/mm)
平均	1255	121	1258	126
最大	1276	133	1366	143
最小	1228	112	1130	108

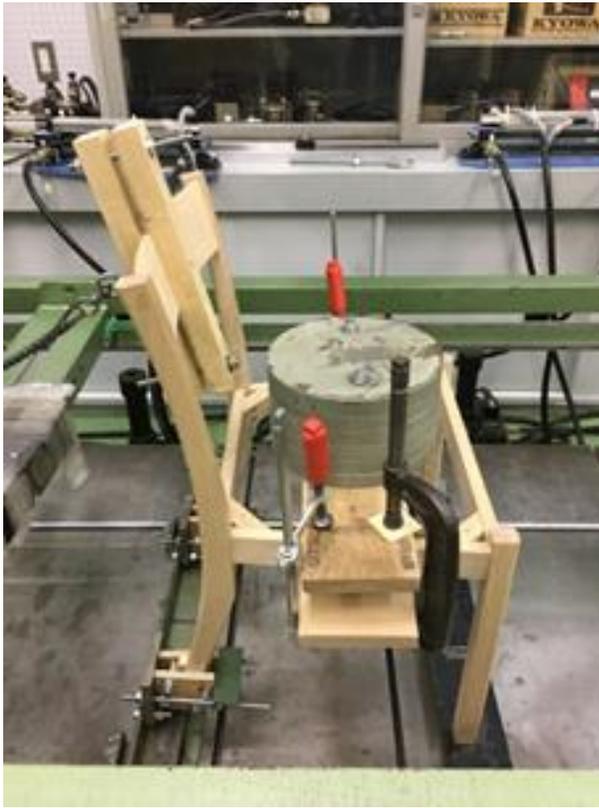


写真6 繰り返し衝撃荷重試験

しての用途には向かないと考えられるため、積極的に間伐対象とすることが推奨されます。

現時点で平均以上の成長を遂げているヤチダモ人工林材の物理的性質は、一般的な天然林材と同等の範疇にあり、利用上の問題はなく、一般的に流通している製材用途の原木として通用すると考えられます。得られた製材は椅子部材として十分な強度性能をもち、試作した椅子も十分な耐久性を示したことから、本研究の対象林分の間伐材は脚物家具の部材として利用できると判断されます。

ヤチダモを始め、ミズナラやウダイカンバといった大径木になる広葉樹は、植林して大径木に育てるのには時間がかかりますが、残された天然林資源を将来に残しながら、今日まで培われてきた木材産業の優れた技術を伝えていくためにも、広葉樹人工林を育てていくことが望まれます。また、天然林においても、中小径木を上手に利用しながら、少しでも大径木に育つものを増やしていくことが必要です。今回の成果を、先人が夢を託した現存する広葉樹人工林だけでなく、天然林や針葉樹人工林の整備で出材される中小径の広葉樹資源を有効に利用していくためにも、参考にしていただければ幸いです。

■参考文献

- 1) 平成24年3月28日農林水産省告示第1037号
- 2) 東京農工大学農学部林学科編，朝倉書院，林業実務必携（第三版），1987.
- 3) 大崎：林産試験場報，No. 543，pp18-28，2015.
- 4) 蕪木：林業試験場研究報告，No. 90，pp109-144，1956.
- 5) 蕪木：林業試験場研究報告，No. 90，pp77-109，1956.
- 6) 矢沢ほか：日本林學會北海道支部講演集（12），pp33-35，1963-11.
- 7) 日本木材加工技術協会編，「日本の木材」，1989.

■おわりに

旭川市東旭川町内の道有林に植栽された85年生のヤチダモ人工林の間伐木について基礎材質試験及び家具用材としての用途適性評価を行いました。

年輪解析の結果から、林分内で優勢ないし標準的な胸高直径に育っているものは今後も継続して順調な肥大成長を維持する可能性が高く、大径木に仕立てられれば価値を上げられる可能性が高いと考えられました。一方、現在劣勢木であるものは肥大成長が鈍化する傾向にあり、また極端に年輪幅の狭い部分を含むことから、今後の間伐などで成長が回復するとしても、強度性能を要求される脚物家具部材と

Q&A 先月の技術相談から

構造材の長期許容応力度

Q：構造材の長期許容応力度はどのように決まっているのですか？

A：構造材では長期的な荷重が加えられても、変形の増大や強度の低下に対して十分に安全を担保できるように設計する必要があります。そのためには、長期荷重により変形がどれくらい増えるのかを示すクリープ係数、長期荷重により強度がどれくらい低下するかを示す荷重継続時間に関する係数を把握する必要があります。

クリープとは、継続的に荷重が加わると変形が増えていく現象で、木材のような粘弾性体に特有のものです。図1に示すように、荷重レベル（強度試験で求めた破壊荷重に対する載荷荷重の比）が低い場合は、50年ほどの長期荷重が加わっても変形は増大し続けますが、破壊することはありません。現行の建築基準法では、木造の梁部材においては長期荷重に対して初期変形の2倍に増大するものとして設計することになっています。

しかし、荷重レベルが限度を超えて大きくなると

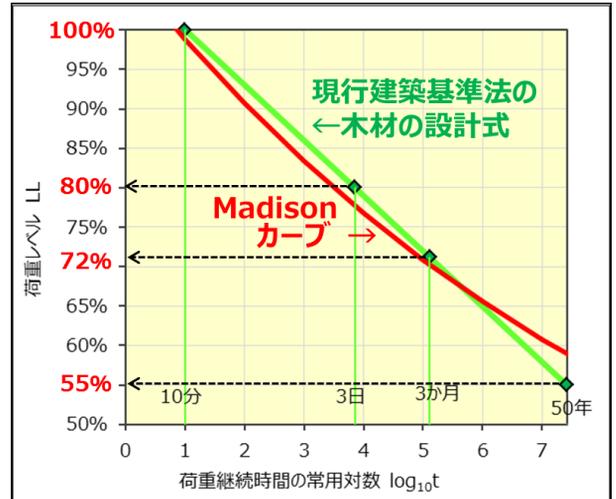


図2 荷重継続時間と荷重レベルの関係

クリープ破壊が生じるようになり、大きくなるほど破壊までの荷重継続時間が短くなっていく特徴があります。

現行の木質構造設計では、表1に示すように、許容応力度は安全率を一律2/3とした上で、荷重継続時間に応じて材料強度を低減しながら設定しています。荷重継続時間は、短期では通常強度試験の破壊時間や風荷重を考慮して10分、中短期では最大積雪量の積載期間として3日、中長期では多雪地域での積雪期間として3か月、長期では建築物の耐用年数を50年と考えており、それぞれの荷重継続係数は1.0, 0.8, 0.72, 0.55とされています。これは、図2に示す赤色の曲線をもとに決められています。この曲線は、Madisonカーブと呼ばれるもので、1951年にアメリカ林産研究所のWoodらが発表したベイマツ製材の長期荷重試験結果から導き出された実験式で、同研究所の所在地（ウィスコンシン州マジソン）から名付けられて

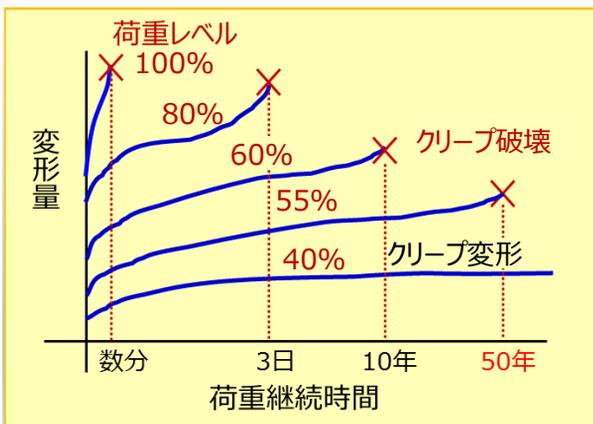


図1 荷重継続時間と変形量の模式図

表1 荷重継続時間に応じた許容応力度の設定

荷重継続時間	許容応力度
短期（10分相当）	= 材料強度F×荷重継続係数1.00×安全率2/3 = F×2.0/3
中短期（3日相当）	= 材料強度F×荷重継続係数0.80×安全率2/3 = F×1.6/3
中長期（3か月相当）	= 材料強度F×荷重継続係数0.72×安全率2/3 = F×1.43/3
長期（50年相当）	= 材料強度F×荷重継続係数0.55×安全率2/3 = F×1.1/3



写真1 テコ式荷重装置（上面で変形測定）



写真2 テコ式荷重装置（側面で変形測定）

います。建築基準法では赤色の実験式をもとに緑色の直線を設定しており、短期（10分）で破壊する荷重を100%として、中短期（3日）では80%、中長期

（3か月）では72%、長期（50年）では55%の荷重で破壊するものとしています。これまでの製材や集成材、単板積層材（LVL）といった木質構造材料の許容応力度は、Madisonカーブをもとに設定されてきました。

平成12年に改正された建築基準法第37条では、主要構造部に使用する建築材料のうち、JASやJISに適合しない新材料では、長期荷重試験によりクリープ係数や荷重継続係数を明らかにする必要があります。そのため、国産材の需要拡大や技術開発が進められるなかで、構造材の開発を行っている民間企業や他県の公設研究機関等から、長期荷重試験の方法や評価方法などについての問い合わせや試験要望が増えています。

林産試験場では、基準法改正以降から長期荷重試験に取り組んでおり、木質I形梁や接着重ね梁、最近では直交集成板（CLT）の長期性能評価を行ってきました。写真1や写真2のような荷重装置を用いて長期間の荷重を加え、変形や破壊までの時間を計測します。テコ式により少ない錘量で大きな荷重を加えられるように工夫をしたり、試験体の形状や変形を測定する場所によって、試験体とテコ梁の位置関係を変えたりしています。

長期荷重試験は、時間とスペースを必要とする試験ですが、新しい構造材の開発には欠かせないものとなっており、長期間安心して木材が使用されるためにも重要な試験項目となっています。今後も試験装置の拡充や評価方法の検証など、長期荷重試験に関する試験研究に取り組んでいきます。

（技術部 生産技術グループ 大橋義徳）

行政の窓

北海道の木育の推進

平成29年3月に改訂された「北海道森林づくり基本計画（平成29年度から38年度）」（以下「基本計画」という。）では、森林づくりに関し、道民の理解の促進、青少年の学習機会の確保、道民の自発的な活動の促進を図り、森林づくりを道民全体で支える気運を高めるため、北海道で生まれ、定着しつつある木育の活動を全道に広げることとしています。

木育の活動を全道に広げるためには、「木育マイスターと連携した木育活動」及び「子育て世代とその子どもに対する木育活動」に重点的に取り組む必要があります。平成29年度から「木育推進事業」の拡充など、基本計画の改訂に沿った事業展開を行っています。

■木育推進事業

1 目的・概要

木育を木材の利用や森林との触れ合いにとどまることなく、幅広い年代や地域の人々が意欲を持って取り組める息の長い道民運動として展開するため、木育を普及する専門家を育成するとともに、多様な主体との連携等による木育の取組を実施する。

2 事業内容

区分	細事業名	内容
木育の推進	木育マイスターの育成・活用	○木育マイスター育成研修【①②】
	子育て支援における木育の推進 新規	○パートナー（父親）を対象とした子育て支援と木育教室【③④】 ○子育て支援と木育・食育に関する普及啓発イベント【⑤⑥】 ○森を使った子育て支援と木育活動【⑦⑧】
青少年の学習の機会の確保	教育における木育の推進 新規	○初任段階教員への木育研修【⑨】 ○学校利用木育プログラムの開発【⑩】



①H29/9/4 厚沢部町緑町コミセン



②H29/10/29 七飯町流山牧場



③H29/10/15 興部町中央公民館



④H29/10/15 根室市総合文化会館



⑤H29/7/16 オホーツク公園



⑥H29/11/23 オホーツク流水公園



⑦H29/9/23美深公園「望の森」



⑧H29/9/23苫東・和みの森



⑨H29/8/1パイロットフォレスト



⑩H29/9/1 道民の森

■木育マイスターと連携した木育活動

- ・Facebookページ「北海道の木育」の開設 H29. 4
- ・「木育達人（マイスター）入門」増補改訂版の発行 H29. 8
- ・木育マイスター全道ミーティングの開催 H29. 11
- ・木育事例集7の発行 H30. 2予定



木育マイスター全道ミーティング
(北海道木育フォーラム2017in弟子屈)

「木育」：子どもをはじめとするすべての人びとが、「木とふれあい、木に学び、木と生きる」取組です。
詳しくはHPをご覧ください <http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/sky/mokuiku/index.htm>

(水産林務部森林環境局森林活用課木育グループ)

林産試ニュース

■第39回ジャパンホームショー展示ブースをロビーに設置しました

11月15日（水）～17日（金）に東京ビッグサイトで開催された『第39回ジャパンホームショー』の林産試験場展示ブースを正面玄関ロビーに設置しました。カラマツ建築材（コアドライ®）やシラカンバリビングダイニング、道産高強度積層材（集成材・LVL）、トドマツ圧縮フローリング等の研究成果品を展示していますのでぜひご覧下さい。



【展示の様子】

■「ウッディ★工作アトリエ」に参加します

1月11日（木）、道立旭川美術館（旭川市常磐公園内）にて開催される、「ウッディ★工作アトリエ」に参加します。

当日は展示会を鑑賞した後、講師の指導により木を素材に「壁掛けアート「レリーフ」」を作ります。林産試験場からは、企業支援部の職員が出向き、工具の使い方や組み立て方等を指導します。

■「CLT企画立案・技術講習会」を開催しました

12月6日（水）、北海道と林産試験場の共催で道北地域の設計関係者や行政担当者を対象に「CLT企画立案・技術講習会」を林産試験場で開催しました。当日は道内・外のCLT利用拡大に向けた取組や、今年度道内で実施しているCLT建築設計の紹介などについて講演が行われました。また、講習会終了後は希望者を対象に、林産試験場で実施したCLTの接合試験設備の見学を行いました。



【講習会の様子】

■「CLT構造設計講習会」を開催します。

1月25日（木）と26日（金）に旭川市と札幌市で北海道と林産試験場の共催で、「CLT構造設計講習会」を開催します。

参加費は無料で、日時・場所・申込み・問い合わせ先は下記のとおりとなります。

【開催日時及び開催場所】

①CLT構造設計入門編 参加対象：構造設計技術者、自治体の建築確認担当者など（各会場先着30名様）

旭川	平成30年1月25日（木） 13：30～16：30 【開場：13：00】 申込締め切り1/23 林産試験場 1階講堂（旭川市西神楽1線10号）
札幌	平成30年1月26日（金） 9：15～12：15 【開場：9：00】 申込締め切り1/24 かでの2・7 9階940会議室 （札幌市中央区北2条西7丁目）

②構造計算ルート1編「実務に役立つ講習」

参加対象：構造設計技術者、自治体の建築確認担当者など（先着30名様）

札幌	平成30年1月26日（金） 13：30～17：30 【開場：13：00】 申込締め切り1/24 かでの2・7 9階940会議室 （札幌市中央区北2条西7丁目）
----	--

【申込み・問い合わせ先】

CLT講習会事務局運営担当
日本データサービス株式会社企画部
担当：浅坂、柿本
メール：clt@ndsinc.co.jp
TEL：011-780-1121 FAX：011-780-1118

林産試だより

編集人 林産試験場
HP・Web版林産試だより編集委員会
発行人 林産試験場
URL：http://www.hro.or.jp/fpri.html

2018年1月号

平成30年1月4日 発行
連絡先 企業支援部普及連携グループ
071-0198 北海道旭川市西神楽1線10号
電話 0166-75-4233（代）
FAX 0166-75-3621