

日本木材学会 組織と材質研究会 2022 年夏期研究会

国産早生樹（新）時代に向けた材質研究



2022 年 7 月 13 日（水）13:00 ～ 17:00
Zoom によるオンライン開催

プログラム

13:00 開会の挨拶（雫子谷佳男）

13:05 趣旨説明（児嶋美穂）

13:10 「森林経営から考える材質研究」
田島信太郎氏：田島山業株式会社

13:55 「早生広葉樹の資源量および利用とその現状」
杉山真樹氏：森林総合研究所 木材加工・特性研究領域

14:35 「利用から考える材質研究」
浅田隆之氏：東京農工大学大学院農学研究院、飛騨産業株式会社、
飛騨高山カーボンサイクル

15:10 「早生広葉樹利用の紹介」
村田功二氏：京都大学大学院農学研究科 森林科学専攻

15:55 「国内外の材質研究と今後の展望」
石栗 太氏：宇都宮大学農学部 森林科学科

16:35 総合討論

17:00 閉会の挨拶（安部 久）

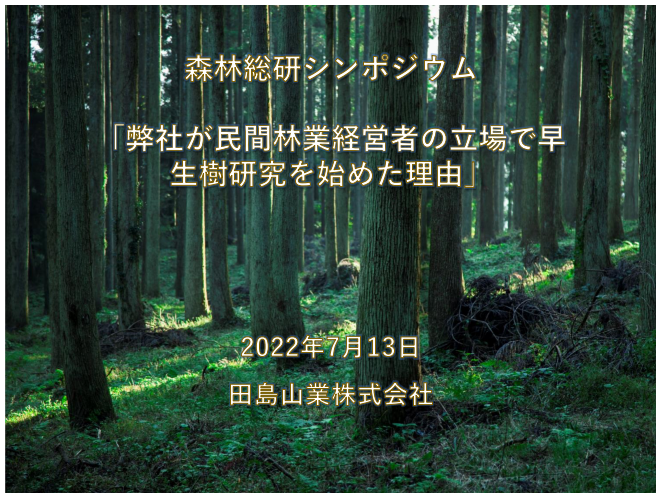
趣旨

早生樹は植樹から伐採までに約 20 年と短期間での木材生産が可能であるため、これまで世代を超えて行われた採算性の悪い林業に、「儲かる林業」の選択肢が追加されると期待されています。また、マンションなどのフローリング材は、外国産広葉樹材に頼らざるを得ない状況であり、国産早生広葉樹材への期待は高まりつつあります。2011 年に当研究会でシンポジウム「早生樹最前線！」を開催して以降、企画担当の松村順司氏の尽力によって、早生広葉樹が造林樹種の選択肢の一つとして再認識され、森林・林業白書に国産早生樹の内容が取り上げられるようになりました。

政府は早生樹の植林に補助金を出し、早生樹利用を推進する方向ではあるものの、その基礎となる木材材質に関する研究は十分ではありません。木材の特性を生かした利用方法は未だ手探りの状態であり、それぞれの樹種の木材特性を正確に把握する必要があります。科学的根拠に基づき、最終用途を提案し、優れた材質の木材を安定的に供給する方法を確立することが、早生樹材の利用促進につながると考えます。将来的には、そのための造林・育林方法や、森林経営方法について、材質研究側から林業側に情報をフィードバックできるシステムの構築が重要と考えます。

本シンポジウムでは、川上から川下まで、各分野のスペシャリストの方々に、早生広葉樹を取り巻く現状をご紹介します。また、海外経験が豊富な講師には、海外での早生広葉樹の材質研究や有効利用の事例をご紹介します。国産早生広葉樹の有効利用に活かすための情報を提供していただきます。それらをもとに、本格利用に向けて、国産早生広葉樹の材質研究の今後の方向性を考えていきたいと思います。

企画担当：森林総合研究所 児嶋美穂

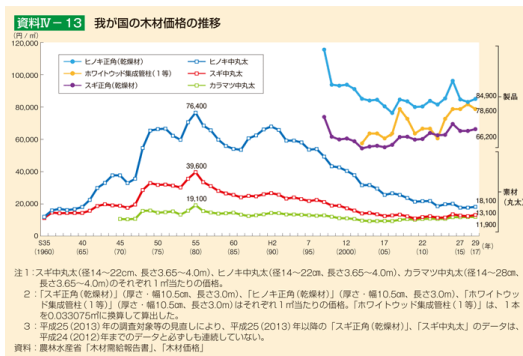


林業とは

木を
植える
育てる
使う
そしてまた植える

1

木材価格の推移



2

木材価格低下による収益率悪化 ～問題を抱える林業の持続可能性～

主伐収入と比較すると林業経営に掛かる経費は相当高いものになっている。

50年生(10齢級)スギ人工林主伐収入	50年生(10齢級)までの林業経営経費
87万円/ha	114万円/ha～225万円/ha

注: 2016年の山元立木価格に基づいて計算
 出所: 林野庁編(2017)『平成29年度版 森林・林業白書』全国林業改良普及協会

林業本来の「植える→育てる→使う→植える」といった業務サイクルが実現不可能な現状

3

日本の国土面積の3分の2が森林



4

守るために、 挑む。

鎌倉時代から森と共に暮らしてきた、
私たち田島山業

この森を、そして日本の森を、
未来まで守り続けたいと思っています

そのために私たちが
日々取り組んでいること

それは、『新しいことに挑む』こと

時代の節目に目を配り、
しなやかに変わっていく

それが私たち、田島山業です



事業紹介



田島流の林業

山林の買取り・委託管理

顔の見える原木販売



森の空間活用

源流の森での農業

防護服の販売

6

プロジェクト紹介



ヤブタグリのカフェ

ヤブタグリの木造建築ビル

ヤブタグリの和楽屋



ヤブタグリの家具シリーズ

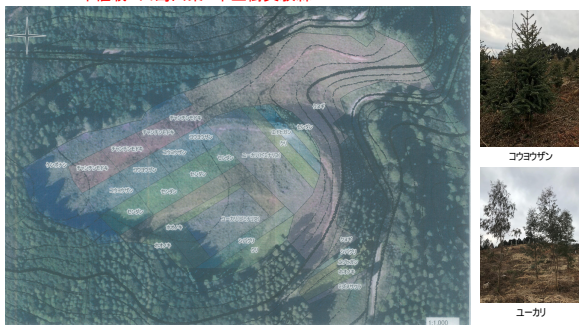


ヤブタグリの家

7

木質燃料製造研究 早生樹・広葉樹実験林

H27～28年植栽 田島山業 早生樹実験森



➤ コウヨウザン、ユーカリ等、植栽密度を変えて実験中(現状7年生)

8

森林環境教育プログラム

森林ボランティアプログラム



九州経済連合会
現・林業部会 設立
次世代林業九州
サミット会議 開催

林業復活・森林再生を推進する国民会議 設立
九経連農林水産委員会 講演
第68回日本木材学会大会 講演

著書



9

令和2年7月豪雨 大分県内で最も土壌雨量指数が高かった中津江村*



*大分大学防災・復興デザイン教育研究センターによる試算に基づく

早生広葉樹の資源量および利用とその現状

森林総合研究所 木材加工・特性研究領域 杉山真樹

1. はじめに

従来樹種よりも短伐期での収穫・収入が望める早生樹種としてセンダン、コウヨウザン等が期待され、既に一部の地域において材質や強度特性等に関する研究が行われている。しかし、これら早生樹種の材質・物理的性質、乾燥特性、加工特性については、未だ不明な点が多く、工業的利用の基盤となるデータ整備は十分とは言えない。

この状況を受け、森林総合研究所は、令和元年度から3年にわたって交付金プロジェクト「国産早生樹種の用材利用に向けた材質・加工特性の解明」（課題番号 201905）を実施し、用材利用に向けた研究を進めた。本プロジェクトでは、センダン、コウヨウザン等国産早生樹種の材質・加工特性の解明に加えて、各地域における広葉樹材の利用実態や早生樹種の植栽・育成状況を踏まえ、国産早生樹種による代替利用の可能性について検討した。

本プロジェクトの一環として、2020年度に各都道府県を対象として、国産早生樹種の賦存状況および現在実施中の国産早生樹種の育成・利用等に関する調査・試験の実施状況に関する質問紙調査を実施した。本講演では、調査により明らかとなった各都道府県における国産早生樹種の育成状況および早生樹に関して都道府県が実施する試験研究の状況について紹介する。

2. 国産早生樹の資源状況

各都道府県における早生樹の植栽状況および早生樹研究の状況について表1に示す。早生樹の植栽状況については、国産早生樹が注目されるようになった2012年以降と、それ以前に分けて整理した。センダンは28府県で植栽されており、一部東北や関東でも植栽されていたが西日本および北陸のほぼ全府県で植栽されていた。コウヨウザンは32県、ユリノキは15県で植栽されており、九州から東北まで広く分布していた。ハンノキ・ヤマハンノキは北海道、東北の主に日本海側および長野県、岐阜県、京都府の9道府県で植栽されており、北日本における早生樹種として注目されていることが伺えた。植栽面積の内訳は、約5割をカンバ類が占め、3割がコウヨウザン、1割がセンダンであった。植栽の規模については、カンバ類、コウヨウザンは10ha以上の大規模植栽が約6割を占めるのに対して、センダン、ハンノキ・ヤマハンノキ、ユリノキでは10haを超えるものは皆無で、1~10ha程度が6~7割を占め、1ha未満の小規模のものが3割程度だった。針葉樹の施業と異なり、広葉樹の場合大規模植林になじみにくく、小規模な植栽が中心となると考えられることから、今後用材としての利用を進めるためには、効率的な収穫方法や流通システムの確立が必要になると考えられる。

3. 国産早生樹に関する研究動向

試験研究に関して、現在29道県が早生樹に関する研究課題を実施しており、早生樹活用に関する関心の高さが伺えた。樹種別には、コウヨウザン18県に対して、センダン17県で

ほぼ同等であり、この 2 樹種に関しても九州から関東まで幅広く研究が行われていることが明らかとなった。研究内容は、育樹・育林に関するテーマが 22 県で最も多かったが、木材利用に関する研究も 12 道県で行われていた。その研究内容としては、材質評価が 8 県と最も多く、家具やフローリング材としての利用に向けた強度や加工性に関する研究も見られた。本調査により、国産早生樹の育成・利用に向けた取組が全国的に広がっていることが明らかになった。

4. まとめ

国産早生樹に関する研究は全国に広がっており、植栽も行われはじめている。一方で、資源量としては国内需要を賄うには不十分であり、植栽面積の拡大が望まれる。立木価格が低迷する中で森林所有者による植栽を促すためには、その樹種に用材としての価値があり、伐採した際に十分な収入が得られることを示す必要がある。したがって、国産早生樹の普及には、樹種ごとの材質・強度等の特性を明らかにするとともに、利用技術を開発し、広く行き渡らせることが不可欠と考える。国産広葉樹を一過性のブームで終わらせないよう、引き続き研究を進めて行きたい。

【文献】 杉山真樹ほか：第 71 回日本木材学会大会研究発表要旨集，2-08-04 (2021)

表1 各都道府県における国産早生樹研究状況および植栽実績（2020年調査時点）

都道府県	植栽樹種（国有林，民間も含む）		研究 実 施	研究対象樹種				その他	研究内容				
	近年の植栽 （2012年以降）	過去の植栽 （2011年以前）		コ ウ ヨ ウ ザ ン	セ ン ダ ン	ユ リ ノ キ	ハ ン ノ キ 類		資 源 調 査	育 種 ・ 育 苗	育 樹 ・ 育 林	施 業 技 術	木 材 加 工
北海道	カンパ類，ハンノキ，ドイツトウヒ		○					カンパ類	○			○	利用技術
青森県	コウヨウザン（植栽期不明），ユリノキ（植栽期不明），ケヤマハンノキ，シラカバ	ケヤマハンノキ，シラカバ											
岩手県	ハンノキ，シラカバ，ダケカンバ，ユリノキ，イチョウ	ユリノキ，ハンノキ，シラカバ，ダケカンバ，ヤナギ類											
宮城県	ユリノキ，センダン，コウヨウザン，チャンチンモドキ，シラカバ												
秋田県	ユリノキ，ケヤマハンノキ												
山形県	コウヨウザン，ユリノキ（植栽期不明），ハンノキ（植栽期不明），ヤマハンノキ（植栽期不明），ニセアカシア（植栽期不明）		○			○	○	ヤナギ，ニセアカシア	○				材質・物性評価
福島県	把握していない	ユーカリ，ボブラ，ユリノキ											
茨城県	コウヨウザン												
栃木県	コウヨウザン，センダン，ニセアカシア，キリ，ピーピーツリー，トチノキ，シバグリ，サワグルミ，チャンチンモドキ		○	○	○	○		チャンチンモドキ，ピーピーツリー，アカシア，トチノキ，キリ，クスノキ，モミ			○		
群馬県	コウヨウザン，センダン，ユリノキ		○	○				ミズキ		○	○		
埼玉県	なし		○	○						○			
千葉県	コウヨウザン，センダン，ユリノキ，チャンチンモドキ		○	○	○	○		チャンチンモドキ			○		
東京都	なし												
神奈川県	なし												
新潟県	なし	ユリノキ，ケヤマハンノキ	○			○	○			○	○		材質評価
富山県	コウヨウザン，ボカスギ		○	○							○		
石川県	センダン（植栽期不明）		○	○	○				○	○	○		材質評価
福井県	センダン，コウヨウザン		○	○	○						○	○	
山梨県	なし												
長野県	なし	ドイツトウヒ，ストローブマツ，ニセアカシア，ハンノキ類											
岐阜県	コウヨウザン，センダン	ハンノキ	○	○	○		○		○		○		加工特性評価
静岡県	なし	コウヨウザン，ユリノキ，テーダマツ，スラッシュマツ	○	○		○							材質・加工特性評価
愛知県	センダン，コウヨウザン（植栽期不明），ユリノキ（植栽期不明），チャンチンモドキ（植栽期不明）		○		○					○	○		材質評価
三重県	センダン，テーダマツ，スラッシュマツ，コウヨウザン	スラッシュマツ，テーダマツ	○		○			スラッシュマツ，テーダマツ			○		
滋賀県	センダン，コウヨウザン												
京都府	センダン，コナラ，ヤマハンノキ												
大阪府	センダン												
兵庫県	コウヨウザン，センダン		○	○							○		
奈良県	なし												
和歌山県	センダン	コウヨウザン											
鳥取県	センダン，コウヨウザン		○	○	○				○	○	○		
島根県	コウヨウザン		○	○	○						○	○	
岡山県	コウヨウザン，センダン，ユリノキ	コウヨウザン，ユリノキ											
広島県	コウヨウザン，センダン	コウヨウザン	○	○	○				○	○	○	○	材質評価
山口県	センダン，コウヨウザン，チャンチンモドキ	ユリノキ	○	○	○			チャンチンモドキ		○	○	○	
徳島県	コウヨウザン，センダン												
香川県	センダン		○		○						○		
愛媛県	オニグルミ，コウヨウザン，センダン		○	○				オニグルミ			○		
高知県	コウヨウザン，センダン	コウヨウザン	○	○							○		
福岡県	センダン，クスノキ，ケンボナシ，コウヨウザン	センダン，ユリノキ	○		○				○		○		乾燥
佐賀県	把握していない		○		○			ヤマザクラ，クスノキ	○				材質評価
長崎県	センダン，チャンチンモドキ，コウヨウザン，ユリノキ，ウリハダカエデ，モミジバフウ，モミ		○	○	○	○		チャンチンモドキ，ウリハダカエデ，モミジバフウ，モミ，キリ			○		
熊本県	センダン，コウヨウザン，ケンボナシ，ハナカガシ，チャンチンモドキ	センダン，コウヨウザン	○		○					○		○	材質評価
大分県	コウヨウザン，センダン，チャンチンモドキ，ユリノキ	チャンチンモドキ，ユリノキ											
宮崎県	チャンチンモドキ，コウヨウザン，センダン，ユリノキ，チャンチン，ニセアカシア	キリ，クスノキ，センダン，チャンチンモドキ，ユリノキ	○	○		○		チャンチンモドキ		○	○		
鹿児島県	コウヨウザン，チャンチンモドキ	コウヨウザン	○					チャンチンモドキ			○		
沖縄県	センダン		○		○			ウラジロエノキ	○				材質評価
合計			29	18	17	7	3		9	10	22	6	12

組織と材質研究会 夏期研究会 (2022年7月13日)

<国産早生樹(新)時代に向けた材質研究>

「利用から考える材質研究 ～国産早生樹ユーカリ～」

浅田 隆之

東京農工大学大学院農学研究院、飛騨産業株式会社、飛騨高山カーボンサイクル

1. はじめに

国産早生樹には、どんな樹種が良いだろうか？利用から考えてみた。(1)成長が早い、(2)何かに使える。身の回りを眺めてみた。ティッシュ、プラスチック、エネルギー、ラーメン屋の壁板は、木目がプリントされた紙だった(騙されそう)。我が国にはまだ木を好む文化が残っている。自分たちが使う木材は自国で育てる方が良い。木の安全保障である。

2. 世界の早生樹ユーカリ

世界の植林地のうち 23%が早生樹ユーカリである。すでに4千3百万ヘクタールあり、年間450万ヘクタールが植林されている^{1, 2)}。ユーカリはオーストラリアが原産である。大陸が乾燥しているため、雨量の多い沿岸部を除けば灌木のようにしか育たない。ところが雨量の多い南米では驚異的に成長した。ユーカリグランディスとユーロファイラの交雑種の挿木クローンは、1年間に1ヘクタールあたり34から45m³にも成長する(図1)。早生樹という軽いイメージがあるが、ユーカリは重い。容積重は1m³あたり461から659kgもある。成長量を表す単位には、Current Annual Increment (CAI その年の成長量)と Mean Annual Increment (MAI その年迄の年平均成長量)がある。図2のように、CAIとMAIの曲線の交点が経済伐期、ローテーションと言われている。ユーカリの場合6-15年である。

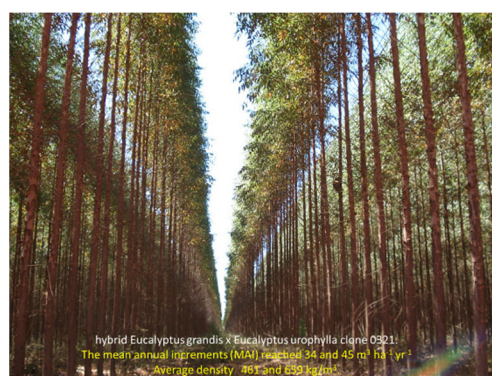


図1 ユーカリ交雑種クローン植林

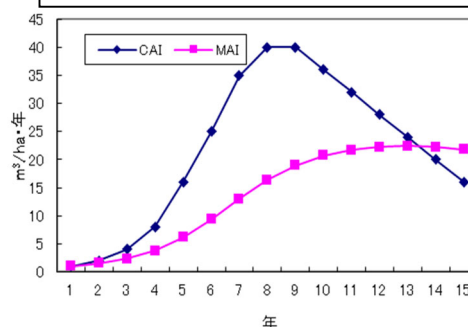


図2 CAI/MAI 曲線と経済伐期

世界のどこかで今日も早生樹ユーカリの種子が蒔かれている。苗が育てられ、地元の住民の手によって植えられ、大きく成長している。それらは、奥地の手付かずの森林ではなく、住居地や農地と隣接する持続可能で再生可能な森林資源である。フェラーバンチャーなどで伐採され、グラップルでトラックに積み込まれ運ばれる。大型チップパーで木材チップに加工され、ベルトコンベアーで貨車に積み込まれ、木材

チップ専用船で海を越えて運ばれる。ブラジルのパルプ工場では、年間 100 万トン単位でティッシュペーパーの原材料に加工されている。

3. ユーカリの育種研究

王子製紙(株)林木育種研究所では、成長量を上げるための育種研究を行った。成長や樹形の良い木を 1000 本選び、保存し、挿木や種子で増やして事業地に植林する。そこから成長の良い木をさらに選び、DNA 鑑定技術で、どの親からきたかを調べる。そうして 1000 本から 50 本に絞り、植林を繰り返す。こうすることで、林木育種にかかる長い年月を大幅に短縮できる。挿木には発根率の向上がポイントである。挿木技術には発根ホルモン以前に光合成の維持が重要であった。交配には花を咲かせる技術が必要である。接木と植物ホルモンの組み合わせで着花促進が可能であった。

4. パルプ材利用に望まれる材質

パルプ材利用に望まれる材質を考える。

まずは成長が早いこと。光合成の効率が関係する。ユーカリは、葉の両面に気孔を持つ。C3 植物であるが C4 植物並みの驚異の光合成活性がある。環境適応能力が高く、休眠の年周リズムがない。環境ストレスにも強い。雑種強勢があり、クローン増殖が可能であった。

次に重いこと。パルプ材は木材チップに加工され、トラック、貨車、船で運ばれるので、重い方が効率に優れる。成長と同じく遺伝する形質であるため、育種が可能である。

最後にパルプ収率が高いこと。リグニンの量や質によって左右される。製紙会社の植林では、ヘクタールあたり何トンのパルプが取れるか?が重要な指標であり、成長性(MAI)×容積重×パルプ収率=パルプ生産性 Pulpwood Plantation Productivity (PPP) と呼ばれている。

この 3 つの特性に優れた樹種にユーカリグロブラスがある。原産地はタスマニアで俗称タスマニアブルーガム (TBG) である。地中海性気候を好み、塩害に耐えて成長することから、西オーストラリアで盛んに植えられている。容積重も大きく、何よりパルプ収率が高い。そこでグロブラスの選抜育種が始まった。この改良品種はウェスタンブルーガム (WBG) と呼ばれる。それぞれの植林地から成長と樹形で選んだスーパーツリー候補木を挿木でクローン化し、成長性を比較した。単木成長が、他のクローンより遥かに良い木が見つかった。パルプ収率も概ね優れていた。パルプ生産性がさらに高い材質を持つ木を早期に選抜するために、立木での特性を調べた。容積重にはパイロディン、パルプ収率にはハンディ近赤外線分光装置 (NIR) を用いた。パイロディンのピンのめり込みが大きいほど材の容積重は軽く、めり込みが小さいほど材の容積重は重かった。一方で、NIR で予測したパルプ収率の推定値は実際にラボで蒸解して求めたパルプ収率の実測値と良く比例した。すなわち、立木の段階でパルプ材に適した木を早期選抜出来ることが示された³⁾。クラフトパルプ蒸解時には、苛性ソーダが添加される。得られたパルプの残りグニン量や漂白度はカップー価という指標で評価される。改良種 WBG は、野生種 TBG と比べて、アルカリ添加率が低く、カッ

パー価が低く、パルプ収率が高かった。カッパー価を 18 に揃えてアルカリ添加率を比較した場合、WBG は明らかに少ないアルカリ添加量で高いパルプ収率が得られた（図 3）。

この優れたパルプ材特性は、一体何に起因するのだろうか？ユーカリグロブラスは、パルプ製造現場に好まれる。蒸解し易く収率も高いからである。一方でベトナムなど東南アジアの植林樹種であった

ユーカリカマルドレンシスは、蒸解しづらいとの評判であった。そこで両者の細胞壁を可視光と紫外線分光顕微鏡で観察した⁴⁾。アルカリ抽出後のクラソンリグニン量はカマルドレンシスで多くグロブラスで少なかった。顕微鏡観察では、カマルドレンシス細胞壁はグアイアシルユニットのリグニンを多く含んでいたが、グロブラス細胞壁はシリングリグニンを主に含んでいることが示唆された。シリングリグニンの β -O-4 結合は蒸解過程で解列しやすく脱リグニンが容易である。

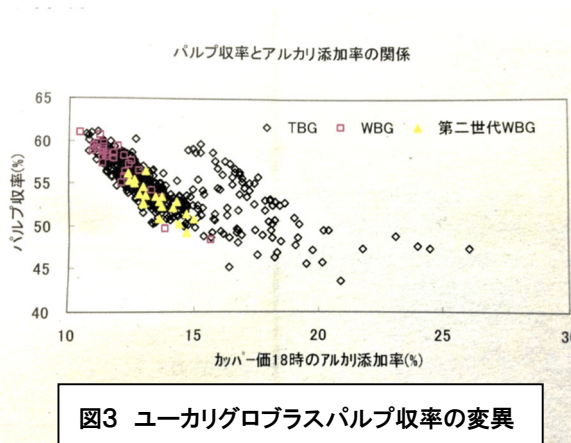


図3 ユーカリグロブラスパルプ収率の変異

5. 家具用材利用に望まれる性質

家具用材利用に望まれる性質を考える。

まずは通直性、製材歩留りに関係する。さらに節がないこと、ユーカリは自然に枝を落とすので、大径材では成熟材に節がないことが特徴である。

次に木理がないこと。木理があると製材や乾燥時に狂い易い。

乾燥し易いこともポイントである。だがしかし、家具用材に好まれるナラやブナは総じて乾燥が難しいのは皮肉である。

王子木材緑化（株）を経て、飛騨産業（株）で国産広葉樹の乾燥技術に取り組んだ。飛騨の家具は曲木技術が特徴である。ここでは曲木加工特性が重要なポイントであることを知った。

図 4 は、ウルグアイ産 22 年生 FSC 認証材の生産である。ユーカリグランディスの用材や製材品が 100% 植林木で持続可能な形で安定供給されている。

オーストラリアやニュージー

用材利用

- ◆ウルグアイ(22年生)
 - FSC認証材
 - E.grandis100%植林木
 - 持続可能な安定供給。

出所:URUFOR社資料「Red Grandis」



図4 URUFOR 社「Red Grandis」

ランドでは、ユーカリ植林木のエンジニアードウッド利用が計画されている⁵⁾。単板、挽板を始め、様々な利用が考えられるのはご存知の通りである。

日本での用材利用の事例を紹介したい。山口県・山陽チップ工業では、21年生サリグナ植林木が71本成林していた。ヘクタール換算で621本である。毎木調査での有効利用材積はヘクタール238m³であった。森林総研で製材試験と天然乾燥試験を行った。製材には問題が無かったが、天然乾燥でも割れや落ち込みなどが頻出した。歩留まりは良くないものの、静岡県のクラタ家具で製品に加工した。

ユーカリは水や空気を放射方向や接線方向にほとんど通さない⁶⁾。木材乾燥過程で収縮の異方性が至るところで発生して、微地形的に大きな乾燥応力が発生する。これが内部割れや落ち込みの原因になる。ユーカリ材は極めて難乾燥な特性を有していた。高温蒸気式乾燥にもトライした。色変わりだけでなく、著しい内部割れと材変形が現れた。道管が変形し、放射柔細胞が蛇行していた。細胞壁の熱軟化と急激な細胞収縮が起きたと想像された。

広葉樹材を暴れさせることなく徐々に乾燥応力を解放させるには、天然乾燥しかないと考えられてきた。従来の家具用材は、製材後に半年から1年以上の年月をかけて天然乾燥し、含水率を20%程度にしたのち人工乾燥で最終含水率を8%程度にしている。これを、天然乾燥を省いて製材後直ちに48～60℃の低温で乾燥させた⁷⁾。国産広葉樹環孔材7種、散孔材15種を45日間で上手く乾燥させることを目標とした。木材乾燥速度は含水率のn乗の対数関数で回帰分析できた。nが大きい時乾燥速度が速く、乾燥の難しい樹種が判った⁸⁾。全乾比重が大きいと乾燥が遅い傾向にあった。放射組織の比率が高いと環散孔材を問わず乾燥が遅い傾向にあった。ハリエンジュ、クヌギ、ミズナラの環孔材では特に結合水の乾燥速度が有意に遅かった。早生樹ユーカリは散孔材であるが、ミズナラの乾燥速度に近く難乾燥である⁹⁾。割れ、狂い、落ち込みのため、用材利用に適さない。国産広葉樹と同様に全乾比重や放射組織の比率が大きいと乾燥が遅い傾向にあった¹⁰⁾。

飛騨産業で国産広葉樹の物性試験が行われた。全乾比重が高いと概して表面硬さや曲げ強度の値が大きく、輸入材のホワイトオーク、ウォルナット、ビーチと比較して、家具用材に向く樹種が判った。早生樹ユーカリは比重0.57、曲げ強度1033、ブリネル硬さ152であり、合格ライン以下に位置付けられるが、近年家具用材に使われるクリよりは数値が高い。しかし、曲げ加工性は悪かった。比重は高くとも、座屈変形や放射割れが多発した(図5)。

なぜユーカリは、難乾燥、難加工な



図5 ユーカリの曲木試験

のか？ナラ材では心材は辺材より水が抜け難い。立木では心材化が進むと道管に気泡が入る。すると水の流れが遮断されるエンボリズムが発生する。道管の大きな環孔材では、道管と隣接する放射柔細胞のプロテクティブレイヤーが膨圧で道管に押し出されてチロースが形成される。ところがユーカリは散孔材であるが、チロースが発達している。その他にも道管と繊維細胞の間にある壁孔はベスチャードと呼ばれる不定形の物質で覆われていた¹¹⁾。これらはペクチンなどの高分子多糖類やタンニンなどのポリフェノール物質から構成されると考えられる。ユーカリはガムの木である。ガムの正体は、水平方向の通道を塞ぐ水分子と水素結合し易い粘性物質なのでは無いか？だとしたら、ユーカリの難乾燥や難加工性は十分説明出来ると考えている。

6. 国産早生樹ユーカリの歴史

最後に我が国のユーカリ植林の歴史を紹介しよう。ユーカリは明治の初期に初めて導入された。1950年代になると盛んにユーカリの研究が提唱され、第一期ユーカリブームが巻き起こる。何と日本ユーカリ研究所なるものまであったそうである。1953年の林野庁の調査によれば当時20～60年性のユーカリが約3000本あった。そのほとんどがグロブラスではないかということで、和歌山県などに神崎製紙などによって数十ヘクタールの試験植林が行われた。その頃京都大学農学部演習林でも67種のユーカリが導入され白浜試験地で研究されたが、平成2年の台風により多くが倒木した。私は同年王子製紙林木育種研究所に入社した。台風でユーカリが建物に倒れてこないか寝ずの番をしたのをよく覚えている。ちょうどその頃製紙原料を海外ユーカリ植林に求める第二期ユーカリブームが起きた。私の使命の一つは日本に適するユーカリを見つけることだった。三重県亀山市に約15種の海外植林樹種ユーカリを導入した。ユーカリビミナリスなどは比較的台風に倒れることなく巨木に成長するのを目の当たりにした(図6a)。その後ニュージーランド・オーストラリアでの海外駐在研究員を経て2013年に帰国、山口県の山陽チップ工業でユーカリサリグナが育っていると聞いた。実際調査すると日本でも成林する事例があると実感した(図6b)。静岡県南伊豆の東京大学演習林樹芸研究所でも1982年に73種のユーカリ試験植林が行われた。斜面でもユーカリスミディの成長が良かったこと、ユーカリエラータがヘクタールあたり688m³と驚異的な成林を示したことを見てとても驚いた(図6c)。残念ながらエラータはヤニが出て用材には適合しなかった。その一方で、サリグナには可能性を感じ、王子製紙静岡県掛川市の社有林と樹芸研に2014年試験植林した。

7. 終わりに

国産早生樹としてユーカリ利用の可能性は、耐風性に関わる。今後の研究課題である。

この度、東京農工大に招かれ我が国でのユーカリ植林の可能性を再び研究できる機会を得た。長年ユーカリの研究に携わってきた私にとってこの上無い喜びである。機会を与えていただいた船田良先生をはじめとする諸先生方にとっても感謝している。最後に長年早生樹

ユーカリ等の木材利用研究が行えたのも、王子 HD、王子木材緑化、飛騨産業、各社のお陰である。また今回紹介したデータは、山陽チップ工業をはじめ、数多くの共同研究者の皆様のご協力による。この場を借りて厚く御礼申し上げる。最後に本講演の機会を与えていただいたオーガナイザーの皆様にお礼申し上げます。



図6 左から a 王子製紙林木育種研究所、b 山陽チップ工業、c 東京大学樹芸研究所でのユーカリ林

8. 引用資料：

- 1) Ball, J.B. (1995). 「Development of Eucalyptus Plantations - an Overview.」
- 2) FAO (2020). 「The State of the World's Forests.」
- 3) Allie Muneri, Takayuki Asada and others. Appita J. (2011) 「Between-tree variation in stem volume, wood density, fibre length and Kraft pulping properties of Eucalyptus globulus and the utility of field-portable NIR Spectroscopy and wood cores in evaluating pulpwood quality properties of standing trees.」
- 4) Yoko Watanabe, Takayuki Asada, Yuzou Sano, Ryo Funada and others. IAWA J. (2004) 「Histochemical Study on Heterogeneity of Lignin in Eucalyptus species II. The Distribution of Lignins and Polyphenols in the Walls of Various Cell Types.」
- 5) Forest & Wood Products Australia, James Hague (2013). 「Utilization of plantation eucalypts in engineered wood products.」
- 6) MR da Silva and others. Materials Research. (2010) 「Permeability Measurements of Brazilian Eucalyptus.」 .
- 7) 浅田隆之ら、日本木材学会大会研究発表要旨集(完全版)(CD-ROM) 71st 2021 年 「飛騨地域産小径広葉樹の高付加価値化・活用推進のための商品開発・試験研究」
- 8) 浅田隆之ら、日本木材学会大会研究発表要旨集(完全版)(CD-ROM) 72nd 2022 年 「国産広葉樹材の乾燥コンダクタンスの組織構造学的説明の試み」

- 9) 齋藤周逸、鳥羽景介、森林総合研究所交付金 PJ「国産早生樹種の用材利用に向けた材質・加工特性の解明～早生樹板材の乾燥性と乾燥方法」
- 10) FJN Franca and others. Bio Resources. (2019)「Air-drying of Seven Clones of *E. grandis* x *urophylla* Wood.」
- 11) Yoko Watanabe, Yuzou Sano, Takayuki Asada, Ryo Funada. IAWA J. (2006)「Histochemical Study of the Chemical Composition of Vessured Pits in two Species of *Eucalyptus*.」

早生広葉樹利用の紹介

京都大学大学院農学研究科
森林科学専攻
准教授 村田功二
E-mail: murata.koji.4e@kyoto-u.ac.jp

2022/7/13

組織と材質研究会 2022春の研究会

1

国産広葉樹の活用

◆ センダン

熊本県林業研究・研修センター(熊本県林業研究指導所)
(公社)日本木材加工技術協会関西支部 早生植林材研究会
京都大学農学研究科
連携: (公社)日本木材加工技術協会九州支部 国産早生樹連絡会

◆ シラカバ・ダケカンバ

京都大学農学研究科
北海道大学雨龍研究林
北海道立総合研究機構 林産試験場
連携: 白樺プロジェクト(北海道)

2022/7/13

組織と材質研究会 2022春の研究会

2

関西地区でのセンダン植林と活用の検討

① 荒廃農地対策

(2017年度木材利用システム研究会基金助成事業)

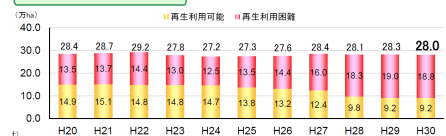
② センダン材の工業的利用

2022/7/13

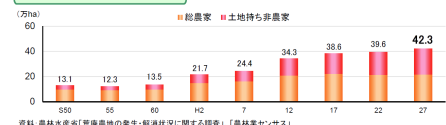
組織と材質研究会 2022春の研究会

3

○ 荒廃農地面積の推移



○ 耕作放棄地面積の推移



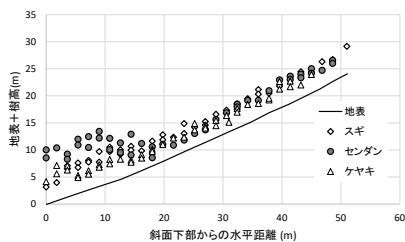
資料: 農林水産省「荒廃農地の発生・解消状況に関する調査」, 「農林業センサス」

農地面積は、主に宅地等への転用や荒廃農地の発生等により、農地面積が最大であった昭和36年に比べて、約169万ha減少。
一方、荒廃農地（客観ベース）の面積は、平成30年には28万haであり、そのうち再生利用可能なものが9万2千ha（32.9%）、再生利用困難なものが18万8千ha（67.1%）。
耕作放棄地（主観ベース）の面積は、平成27年には42万3千ha。

2022/7/13 [荒廃農地の現状と対策について] 農林水産省(令和2年4月)

4

センダンの植栽適地は土壌養分・水分が豊富な谷筋や平地



スギ・センダン・ケヤキの列状混交林の樹高を調査した結果、斜面上部では樹種間に差は見られなかったが、斜面下部ではセンダンの優れた成長が確認できた。センダンの植栽は平地が最も適しているが、スギの適地のうち谷筋などの斜面下部や緩斜面の陽光地も造成地として活用すべきである。

(熊本県 横尾健一郎氏 提供)

2022/7/13

組織と材質研究会 2022春の研究会

5

荒廃農地への早生樹（センダン）の試験植林

ケース 1: 兵庫県宍粟市山崎町榎

事業主体: 宍粟市早生樹活用研究会
補助事業: ふるさとの森づくり事業補助金 (宍粟市)
標高230m 0.3ha (2016年4月植栽)

ケース 2: 兵庫県宍粟市波賀町上野

事業主体: 波賀荒廃農地再生プロジェクトチーム
補助事業: 耕作放棄地対策事業補助金 (宍粟市)
標高320m 0.1ha (2017年5月植栽)
0.17ha (2018年5月植栽)

ケース 3: フォレストステーション波賀

標高660m 0.5ha (2015年4月植栽)

村田・樽谷「荒廃農地における国産早生樹の可能性—兵庫県宍粟市での事例の検証—」木材利用システム研究 4, 8-11 (2018)

2022/7/13

組織と材質研究会 2022春の研究会

6

ケース 1：兵庫県宍粟市波賀町梯 標高230m 0.3ha (2016年4月植栽)



- ・周囲に農地はなく、農道が荒廃農地に隣接する。
 - ・林地に搬出トラックを横付けできる（集材作業不要）
 - ・ハーベスタの乗り入れが可能で、トラックに直接積める。
- 紙川敏明氏（元森林組合長、土地家屋調査士）
村田・糟谷：木材利用システム研究 4, 8-11 (2018)

2022/7/13

組織と材質研究会 2022春の研究会

7

調査項目

- (1) センダンの成長量の測定
- (2) 搬出作業効率
- (3) 農地から林地への変更手続き

2022/7/13

組織と材質研究会 2022春の研究会

8

(1) センダンの成長量の測定

	成長期間 (月)	樹 高 (m)	成長速度 (cm/月)
ケース 1	17	391	20.1
ケース 2	8	137	10.9*
ケース 3	21	300	11.9
スギ伐採跡地**	16	201~296	9.4~15.4

*1年目は2年目に比べると成長量は少ない
**近畿中国森林管理局管内10ヶ所の試験植林地

荒廃農地に植栽されたセンダンは
(ケース 1、ケース 2)、緩傾斜
のスギ伐採跡地に植栽されたセン
ダンより成長が早い



2022/7/13

組織と材質研究会 2022春の研究会

9

センダン材の工業的利用

- ① パーティクルボード
- ② MDF
- ③ 合板・LVL

(H30産学官共催セミナー国産早生樹センダンの使い道ー)

2022/7/13

組織と材質研究会 2022春の研究会

10

センダンパーティクルボード (PB)



接着剤：
ユリア樹脂 (UF)
メラミン・ユリア樹脂 (MF)
フェノール樹脂 (PF)
イソシアネート (MDI)

目標密度：
0.70 g/cm³ (15mm厚)
0.75 g/cm³ (9mm厚)

撥水剤：使用せず
(通常パラフィン系のワックスエマルジョン添加)

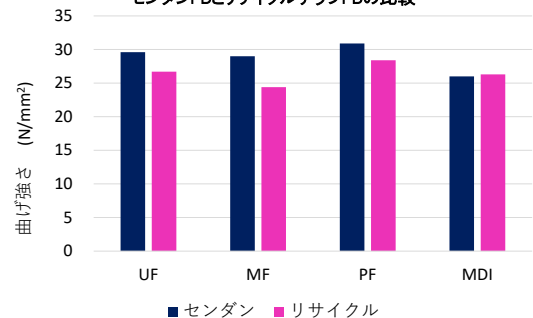
日本ノボパン工業株式会社・永大産業株式会社

2022/7/13

組織と材質研究会 2022春の研究会

11

PB 常態曲げ強さ (15mm厚) センダンPBとリサイクルチップPBの比較

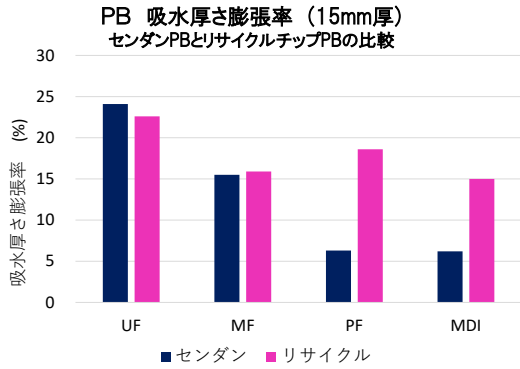


日本ノボパン工業株式会社・永大産業株式会社

2022/7/13

組織と材質研究会 2022春の研究会

12



日本ノボパン工業株式会社・永大産業株式会社

2022/7/13

組織と材質研究会 2022春の研究会

13

センダンの耐蟻性を確認

試験体 センダン材 (辺心材移行部、心材、髄付近)
スギ材 (辺材、心材)
各3試験体

試験体寸法 20 (R) × 20 (T) × 9~10 (L) mm

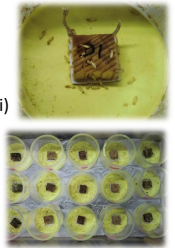
方法 JIS K1571に準拠

1 試験体につき兵蟻15頭・職蟻150頭
イエシロアリ (*Coptotermes formosanus* Shiraki)

期間 3週間

場所 シロアリ飼育室 (28±2℃)
生存圏研究所・居住圏劣化生物飼育棟 (DOL)

確認 生存兵蟻・職蟻の頭数
重量減少量



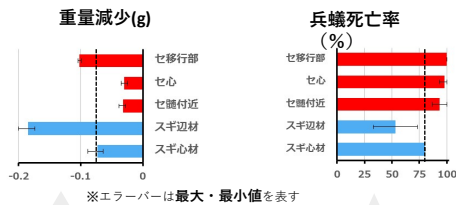
Utsumi et al. (2018) Mechanical properties and biological performance of particle board made of Sndan (*Melia azedarach*), *Bioresources*, 14(2), 4100-4109

2022/7/13

組織と材質研究会 2022春の研究会

14

センダンの耐蟻性



スギ辺材 > センダン材
スギ心材 > センダン心材

センダン材の兵蟻の死亡率は高い

センダン材(特に心材)の耐蟻性は優れている!!

✓ 密度の影響
✓ 抽出成分の影響

Utsumi et al. (2018) Mechanical properties and biological performance of particle board made of Sndan (*Melia azedarach*), *Bioresources*, 14(2), 4100-4109

2022/7/13

組織と材質研究会 2022春の研究会

15

北海道のパイオニア種

シラカバ・ダケカンバの活用

例：硬式野球バット

シラカバ・ダケカンバ

Betula platyphylla SUKATCHEV var. *Japanica* HARA
Betula ermanii CHAMISSO

シラカバ (シラカンバ) :
基本種は東アジア北部に広く分布し、日本では本州北部・中部と北海道に分布する。日本海側では少なく、宮城県・山形県ではほとんど見られない。
ダケカンバ:
大陸東北部、つまりアムール、カムチャッカ、朝鮮、満州から樺太、千島を経て北海道、本州北部・中部、四国に分布しているが、中国地方には見られない。

平井信二 (木の大百科, 1996)



伐採跡地や山火事跡など攪乱があった場所に、いち早く侵入し成長する先駆樹種 (パイオニアプランツ) である。

2022/7/13

組織と材質研究会 2022春の研究会

17

HOKKAIDO SHIRAKABA PROJECT 白樺プロジェクト

なかな木を切らない木こりがいる。
白樺を愛し育てる者がいる。
その価値を磨きまそうとする研究者。
樹液の素晴らしい味を見出した人々。
樹齢の落ちた木から皮を採り、籠を編む。
その幹を頂き、暮らしの道具を作る。
この営みを絶やさないように。
すべては「森から始まる」ことを伝えていきたい。



一般社団法人 白樺プロジェクト
設立メンバー
鳥羽山聡：木と暮らしの工房 (家具再生・製造)
杉達浩昭：樹澤工房 (家具製造)
田中定文：papasdesign (グラフィックデザイン)
藤原立人：アーケン株式会社 (建築)
秋津裕志：北海道立総合研究機構 林産試験場
吉田俊也：北海道大学教授
横田宏樹：静岡大学准教授/旭川大学特別研究員
朝倉芳満：アサクラデザイン (家具デザイン)
清水省吾：里山部 (自伐型林業)
松本浩司：旭川公園 (ゲストハウス)

<https://shirakaba-project.jp/index.html>

2022/7/13

組織と材質研究会 2022春の研究会

18

アメリカでバットに使われる樹種

- ホワイトアッシュ
強さと柔軟性の両方を持った軽くて強い材である。
- シュガーメイプル
密度が高く、重い材であり、パワーヒッター向きである。
- イエローバーチ
メイプルのように重い材で、アッシュのような柔軟性もあわせ持つ。

<https://www.wikihow.com/Make-a-Baseball-Bat>

SCIENTIFIC AMERICAN Website: By Brittany Patterson, ClimateWire on April 5, 2016
Baseball Bats Threatened by Invasive Beetle Climate change may also imperil the sport

Bondsの記録更新以来、多くのプロがメイプルバットを選択している。しかし、アッシュバットに戻りたくても戻れないかもしれないと科学者は指摘する。アジアから侵入したアオナガタマムシにより数億本のアッシュが枯れた。温暖化により甲虫が越冬だけでなく幼虫の期間が半減した。

David Kretschmann (USDA)

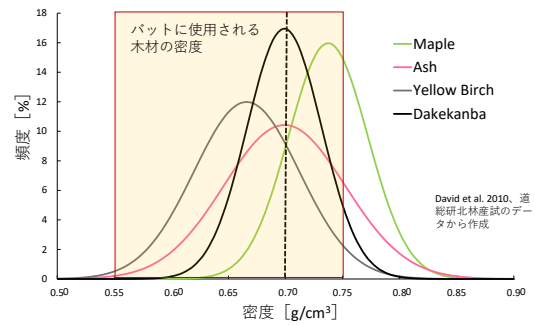
既にMLBに2樹種の承認を受けた。現在5%のプレーヤが使っているイエローバーチと、他にヨーロッパバーチである。既にプレーヤーたちはアッシュから離れているので将来的には心配はない。

2022/7/13

組織と材質研究会 2022春の研究会

19

バットに使用される樹種の密度分布



David et al. 2010、道
総研北林産研のデー
タから作成

バット材としての適性についてSoGと強度の関係に注目
メイプルとカンパはともに散孔材

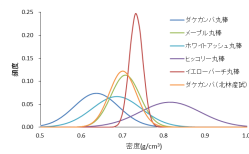
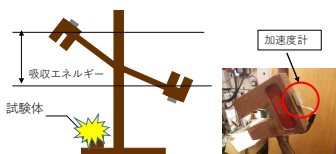
2022/7/13

組織と材質研究会 2022春の研究会

20

強度の測定 | 衝撃曲げ試験

シャルピー衝撃曲げ試験



衝撃曲げ吸収エネルギー [J/cm²]
(おもりの位置エネルギー変化)

衝撃最大強度 [MPa]
(最大加速度×おもりの質量)

直径23mm×長さ320mmの丸棒
ダケカンバ 51本
シュガーメイプル 50本
ホワイトアッシュ 55本
ヒッコリー 50本
イエローバーチ 12本

富田 他「ダケカンバ材の野球バット適性の評価」木材学会誌 66(1) 39～45 (2020)

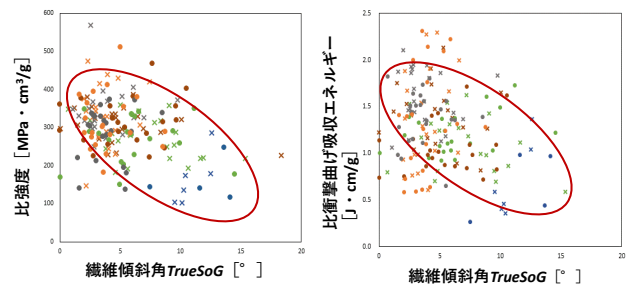
2022/7/13

組織と材質研究会 2022春の研究会

21

比強度

比衝撃曲げ吸収エネルギー



繊維傾斜角度(SoG)の影響を強く受ける

2022/7/13

組織と材質研究会 2022春の研究会

22

SoGと強度の関係 | ハンキンソン式

繊維傾斜角 θ と強度 N の関係式

$$N = \frac{PQ}{P \sin^n \theta + Q \cos^n \theta}$$

P : SoG 0° における強度

Q : SoG 90° における強度

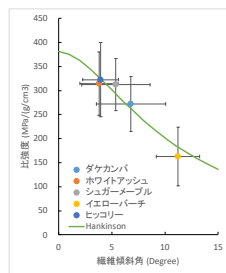
n : 実験によって決まる係数

小型シャルピー
衝撃曲げ試験機

実測値より係数 n を決定

文献値: $n=1.5 \sim 2.0$ 結果: $n=1.83$

文献値: $Q/P=0.05$ 結果: $Q/P=0.20$

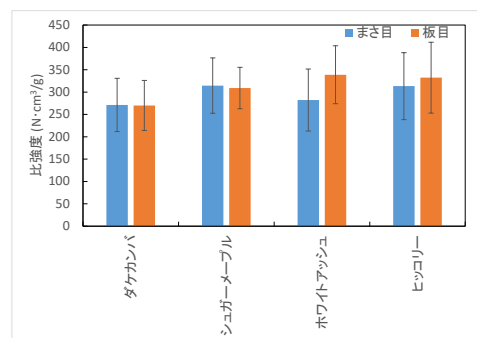


2022/7/13

組織と材質研究会 2022春の研究会

23

バット用材との比較(SoG=0で補正)



ダケカンバの比強度 (SoG=0) はバット材と同等

2022/7/13

組織と材質研究会 2022春の研究会

24

硬式野球バットの試作(2017)

【原料】北海道雨龍演習林

原木直径32~38 cmを直径7cm、長さ1mの円柱材(芯去り)

【加工】ミズノテクニクス(株) 養老工場

重さ840~910 g × 14本



富田 他「ダケカンバ材の野球バット適性の評価」木材学会誌 66(1) 39~45 (2020)

2022/7/13

組織と材質研究会 2022春の研究会

25

【試打】京都大学硬式野球部部員13名に1週間使用してもらい使用感をアンケートにより調査 (2018年1月)



一週間一本当たり50~1000球の使用で一本も折れなかった

ダケカンババットは強度だけではなく使用感においてもバットとしての適性有り

2022/7/13

組織と材質研究会 2022春の研究会

26

ダケカンバ硬式野球バットの可能性

- ・ 野球バット用材として適度な密度である
- ・ メープルやアッシュなど従来のバット用材と強度は同等であり利用可能である
- ・ 繊維傾斜からの強度予測ではハンキンソン式が適用可能
- ・ ダケカンババットは強度だけではなく使用感においてもバットとしての適性有り

2022/7/13

組織と材質研究会 2022春の研究会

27

国内外の材質研究と今後の展望

宇都宮大学農学部 石栗 太

これまでの約 20 年間、インドネシア、マレーシア、タイ、モンゴルおよび日本で生育している樹木の成長と材質の関係について調査してきた。研究を始めた当初、「早生樹」＝「熱帯早生樹」というイメージが強く、インドネシアやタイなどにおいて *Falcataria moluccana*、*Acacia mangium*、*Eucalyptus camaldulensis* などの伐期が 10 年以内に設定されているような早生樹種の成長と材質の関係について調査をしてきた。その結果、熱帯早生樹においては、肥大成長が早い個体が必ずしも材質が劣るというわけではないことや、木部成熟が開始されるタイミングが形成層齢に依存するというよりは直径成長に依存するものが多いということを示してきた。一方、これまでの研究では、細胞長の半径方向変動を調査しその結果から木部成熟の様式を明らかにしてきており、細胞長に加えて他の様々な木材性質や組織学的性質も組み合わせた上で客観的に成長と材質の関係解明を進める必要があると感じてきた。本発表では、熱帯早生樹を対象として、様々な木材性質や組織学的性質の半径方向変動をモデリングしその結果から木部成熟様式を明らかにした例を紹介する。また、近年では、我が国においても、早生樹の重要性が認識され、センダン、ユリノキ、コウヨウゼンなどのさまざまな樹種について研究がなされてきている。本発表では、ユリノキにおいて最近得られた成長と材質の関係に関する研究成果についても紹介する。