

林産試 だより

ISSN 1349-3132



フィンランド研修
(北森カレッジニュースより)



林産試の冬景色
(林産試ニュースより)

・乾燥による木材の変形 —収縮異方性と水分傾斜—	1
・ヤング係数のはかり方	4
・持続可能な循環に向けて	7
・行政の窓〔令和3年 特用林産統計について〕	8
・林産試ニュース・北森カレッジニュース	9

3
2023



道総研

(地独)北海道立総合研究機構

林産試験場

乾燥による木材の変形 —収縮異方性と水分傾斜—

技術部 生産技術グループ 土橋 英亮

■はじめに

伐採したばかりの丸太から得られる木材には多くの水分が含まれていて、置かれた環境になじむまで水分を放出、つまり乾燥します。そして、木材中の水分がある程度減少すると木材は収縮を始め、水分を放出するほど収縮の割合が大きくなります。このとき、収縮した木材はただ小さくなるのではなく、反り・曲がり・割れ・ねじれが生じたり、縦・横・高さの比率が変わるなどの変形が起こります。変形した木材はかんな盤などを使って修正加工を行い所定の寸法に成形しますが、その後に水分放出、あるいは吸収が起こると再び形状が変化します。これには、木材の収縮の性質や樹木の生育環境、乾燥方法や乾燥後の含水率、修正加工の時期などが複雑に影響しているのですが、ここでは木材の横断面の変形に焦点を当て、乾燥による木材の変形について説明します。

■収縮異方性

前項で述べたように、木材は乾燥すると収縮しますが、その割合は木材の方向（図1）や樹種により異なります。

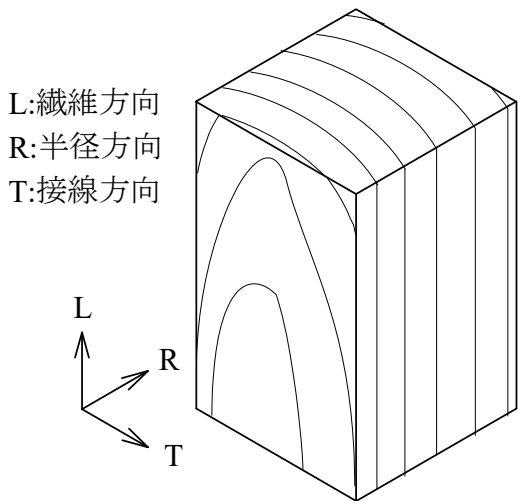


図1 木材の3方向

収縮の割合のことを収縮率、方向によって収縮率が異なることを収縮異方性といいます。木材の繊維方向、半径方向、接線方向の収縮率の比をとると、一般的に0.5～1：5：10といわれています。このように、半径方向と接線方向の収縮率は繊維方向の収縮

率に比べ大きく、かつ両者に2倍程度の差があるため、両者の収縮異方性は乾燥による木材の横断面の変形の主因となります。図2¹⁾は乾燥による木材の変形を示した模式図で、丸太から木材を採取する位置により木材がどのように変形するかを示しています。

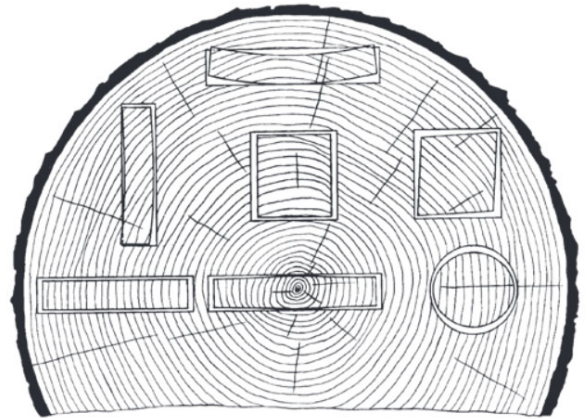


図2 乾燥による木材の変形

ここで、板目板の反りについて詳しく説明します。図3²⁾の①は板目板を3分割した断面の単純化モデルです。接線方向は半径方向の2倍収縮しますから、②のAとCはひし形、Bは縦長の長方形になります（③）。変形したA～Cをつなげて④元に戻すと⑤のように反った状態になるというわけです。一方、柾目板の場合は3分割した全ての箇所が②のBと同様になるため、（収縮しますが）反りはほとんど生じません。

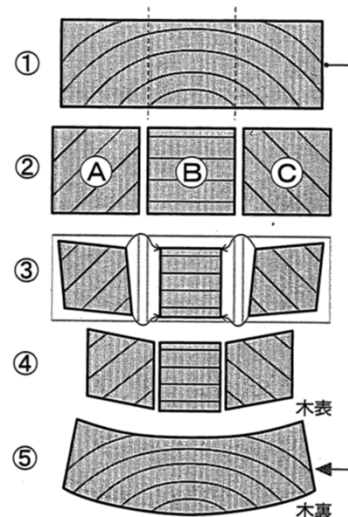


図3 板目板の反り

■水分傾斜

前項では主に板類の変形について、収縮異方性の観点から説明しましたが、柱材や梁桁材など断面積の大きい木材の変形を考えると、収縮異方性に加え、水分傾斜の影響を考える必要があります。水分傾斜とは、木材の表層部と内部との含水率の差のことで、一般的には断面の大きな木材を乾燥したときに大きくなり、薄い板類を乾燥したときにはほとんど発生しません。また、木材を急速に乾燥するほど、仕上がり含水率が高いほど水分傾斜が大きくなる傾向があります。水分傾斜を調べるには、例えば図4の線囲いの部分のように9個の小片を採取してそれぞれの含水率を測定する方法があります。

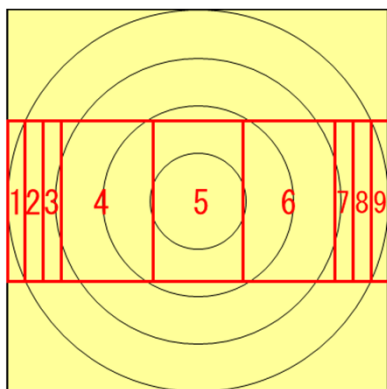


図4 水分傾斜測定用試験体の例

図5は横断面全体の平均含水率（水分傾斜測定用試験体の隣接部から採取した試験体で測定）が18.3%のときの、小片ごとの含水率をグラフで示したものです。

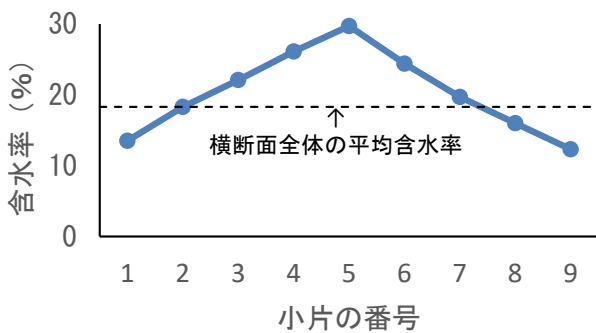


図5 水分傾斜の例

このように、横断面全体の含水率がある程度下がっていても、内部の含水率はかなり高い状態であることが分かります。それでは、このように水分傾斜がある木材は、どのように変形するのでしょうか。

ここでは、横断面内に樹心部を含む柱材（心持ち柱材）を割れないように乾燥した場合を例にして考えます。図6は心持ち柱材の収縮率の特徴を示したも

のですが、このような特徴を持つ心持ち柱材が乾燥すると、表層部は表層部の含水率と収縮方向（接線方向）に見合った分だけ収縮します。ただし厳密には、内部の含水率が高いことと、収縮の方向が材の内部では半径方向になることの影響を受けるので、自由に収縮する場合に比べると収縮がやや抑制されます。

一方、材の中央部（図6の細い矢印の方向）は、収縮率の小さい半径方向であることに加え、内部に含水率の高い部分があるため、あまり収縮しません。このため、横断面全体では図7のように、中央部が凸の状態になります。これは、図2で樹心を含む板材が凸レンズ状の変形をするのと同じ傾向です。

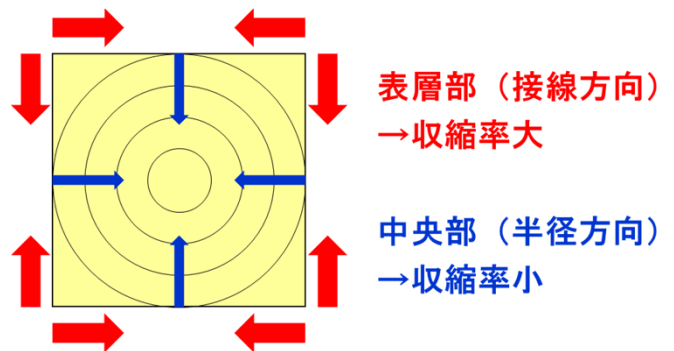


図6 心持ち柱材の収縮率の特徴

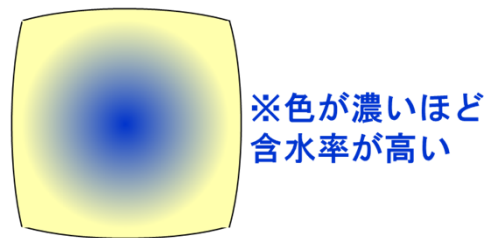


図7 心持ち柱材の乾燥後の変形と含水率

次に、変形した柱材の横断面を正方形に修正加工した後の変形を考えます。乾燥により生じた変形を修正する工程は、多くの場合水分傾斜が解消されなまま行われます。これは、水分傾斜が解消されて横断面内の含水率が均一になるには相当な時間が必要なためです。したがって、修正加工後の変形については、水分傾斜の影響を考慮する必要があります。

まず、修正加工後の表層部は、最も含水率の低い表面を失ったのでやや含水率が上がりますが、内部に比べれば含水率が低いため、周辺環境になじむまでの含水率の変化はあまり大きくなく、寸法の変化はわずかです。一方、材中央部の収縮方向は、収縮率の小さい半径方向ですが、含水率の高い部分が含

まれているため、長期間が経過して水分傾斜が解消されたときの含水率の変化が大きく、修正加工後の寸法変化は表層部よりも大きくなります。したがって、修正加工後の心持ち柱材は、**図8**の右側のように、中央部が凹になる傾向があります。なお、**図7**と**図8**は変形を理解してもらいやすくするため、変形を強調して描いています。

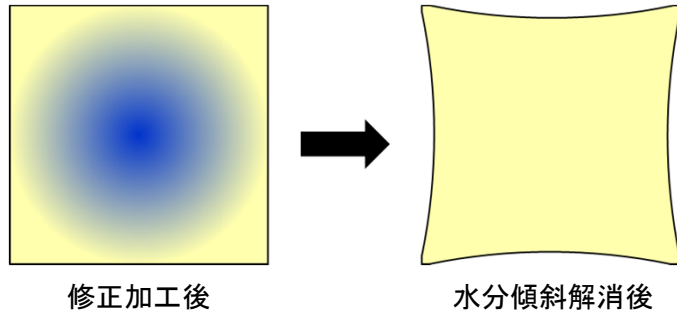


図8 心持ち柱材の修正加工後の変形

■おわりに

今回、乾燥による木材の変形を考える上での基本となる収縮異方性に加えて、水分傾斜の有無が木材の変形に影響し、断面寸法や修正加工の時期によっては、収縮異方性の影響による変形とは変形の傾向が異なる場合があることを紹介しました。身近にある木材の変形を考えるときの参考になれば幸いです。

■参考文献

- 1) U.S. Dept. Agr. For. Prod. Lab. : Wood Handbook, p.4-7 (2021).
- 2) 井上雅文ら：木力検定①木を学ぶ100問，海青社，p.26 (2012).

ヤング係数のはかり方

性能部 構造・環境グループ 藤原 拓哉

■はじめに

筆者は2020年に開校した北海道立北の森づくり専門学院（略称：北森カレッジ）の外部講師を仰せつかり、2020年、2021年の2年間（1年につき、1回90分だけでしたが）務めさせていただきました。担当科目は木材の特徴や用途、製材品の種類や特徴、加工方法などについて学ぶ木材加工で、その中でも木材の強度特性について担当しました。講義は座学だけではなく、実験・実習を取り入れるようにというリクエストがありましたので、ヤング係数の測定を行うこととしました。本稿では、この講義の中で行ったヤング係数の測定について紹介いたします。

○ヤング係数とは

ヤング係数とは何かというと、力と力にともなう変形の大きさの関係を表す値で、変形が小さいほどヤング係数が大きくなるので、変形しにくさを表す値であるといえます。さらに木材の場合、ヤング係数は強度（破壊に必要な力の大きさ）と関連が強いので（図1）、強度の指標となり得ます。特に単独で用いる場合、密度（比重）や節径などの他の指標と比較して、最も精度の高い結果が得られます。

ヤング係数の測定方法は大きく分けて2通りあります。1つは定義どおり、力を加えて変形の大きさを測る静的な方法です。もう1つは振動を利用した方法で、木材を叩いて振動させ、1秒間に振動する回数や、木材を叩いて発生した波動が木材中を伝わる速度に基づく動的な方法です。前者については、木材が大きくなると大がかりな装置が必要となりますし、形状が一樣な角柱や円柱でないとヤング係数の計算が困難になるという問題があります。これに対し、後者

では断面の大きさや形による制限が少ないという特徴があります。振動数を測定する方法では木材の振動数を空気の振動数、すなわち音の周波数（音の高さ）として捉えることができます。音をマイクで収集し、分析することは、今どきのパソコンやスマホで十分に対応できるので、専用の装置は必須ではありません。一方、速度を測定する方法は特殊な装置を必要とします。講義では静的な方法として、おもりで曲げ変形させる重錘载荷法と動的な方法として叩いて発生した音の周波数を測定する打撃音法について紹介しましたが、実習は時間の制限もあって、丸太にも適用できる打撃音法のみとしました。

○重錘载荷法の手順

用意するもの

- ・おもり：測定対象によって変わります。今回は重量が3kg程度の鋼材を2つ使いました。
- ・ダイヤルゲージ：測定対象によって変わります。今回は測定精度0.01mm、測定範囲0～30mmのものを使いました。
- ・角材、またはウマ（建築工事現場で使われる作業台）等：支点として使います。
- ・メジャー：支点位置、おもりを載せる位置、ダイヤルゲージを当てる位置の調整に使います。
- ・ノギス：試験体の断面寸法の測定に使います。

手順1：試験体の厚さの14倍以上を目安に、支点の位置を調整します。

手順2：支点の中間部分にダイヤルゲージをセットします。

手順3：支点上に試験体を載せ、中央におもりを1つ載せます。試験体にガタつきがあれば、支点にクサビをかませるなどして、ガタつきを抑えます。

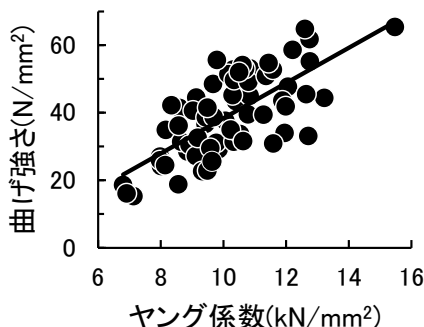


図1 ヤング係数と強度の関係（トドマツ206材）

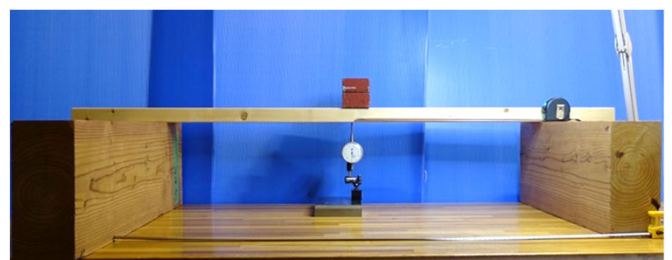


写真1 重錘载荷法によるヤング係数の測定

手順4：ダイヤルゲージ外周のリングを回し、針が0を示すようにします。

手順5：おもりを追加し、ダイヤルゲージの値を読み取ります。

手順6：次の式でヤング係数を計算します。

$$E = \frac{9.8 \times W \times L^3}{4 \times b \times h^3 \times y} \div 1000$$

この式では、 E ：ヤング係数（キロニュートン毎平方ミリメートル、またはギガパスカル。以下、 kN/mm^2 ）、 W ：追加したおもりの質量(kg)、 L ：支点の間隔(mm)、 b ：材幅(mm)、 h ：材厚(mm)、 y ：ダイヤルゲージの読み(mm)を表します。

写真1に示した実施例では追加したおもりの質量=2.69kg、支点の間隔=1,000mm、材幅=89mm、材厚=38mm、ダイヤルゲージの読み=0.16mmでしたので、ヤング係数=8.43 kN/mm^2 が得られます。

○周波数分析アプリケーションソフト

音の周波数を分析するアプリケーションソフトは多数ありますが、講義では「HandyOscillo Ver.1.25」というフリーソフト (<https://www.vector.co.jp/soft/win95/art/se376225.html>) を使いました。これは汎用的な計測器であるオシロスコープを模したもので、とっつきにくい面もありますが、ヤング係数の測定に適した以下の機能を有しています。

- ・リアルタイムで処理できる

打撃音を収録すると、直ちにその周波数の分析と結果の表示が行われるので、測定をスムーズに進めることができます。

- ・レベルトリガ

ある程度大きな音を拾ったときから収録を開始するようにすれば、打撃音を的確に拾い出すことができます。HandyOscilloには、このレベルトリガと呼ばれる機能があります。

- ・ピーク周波数表示

打撃音法で必要なのは打撃音に含まれる音のうち、一番強い音の周波数です。HandyOscilloでは一番強い音の周波数を探し出して表示する機能があります。

○打撃音法の手順

用意するもの

- ・はかり：試験体の重量を測定します。
- ・メジャー：材長を測定します。
- ・ノギス等：断面の寸法を測ります。
- ・クッション材：振動を妨げないようにするために、試験体はスポンジ等の柔らかいものの上に置くよう

にします。

- ・パソコン：マイクロホンが使える、HandyOscilloがインストールされているもの

なお、アプリケーション以前のデバイスレベルの設定についてはハードウェア、OSによってまちまちなため、設定方法について省略します。

手順1：HandyOscilloの設定を行います。メニューで「設定変更」→「デバイス、周波数...」と選択し（図2）、条件設定ウィンドウ（図3）を表示し、サンプリング周波数、窓関数、トリガ・レベルを図に示したように変更し、「設定」をクリックして、条件設定ウィンドウを閉じます。図4に示すメインウィンド

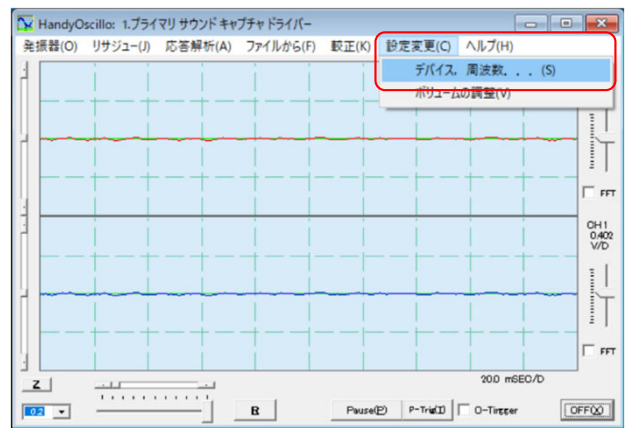


図2 条件設定の呼び出し

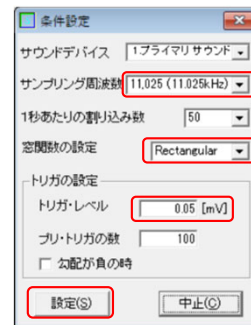


図3 条件設定

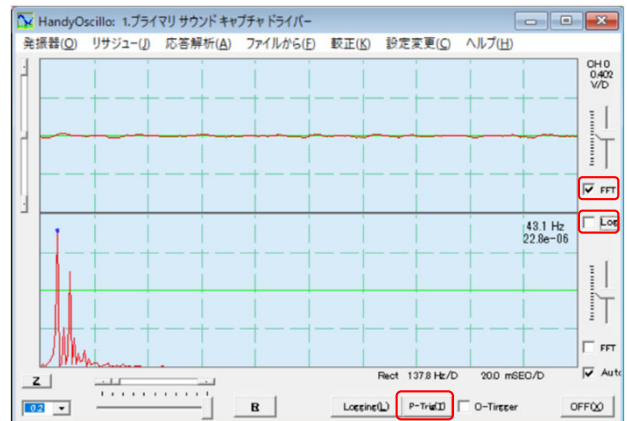


図4 画面表示の設定

ウの上部表示領域の下寄り右隣にある「FFT」にチェックを入れます。すると、下部表示領域のグラフが時間波形から周波数スペクトルに変わります。下部表示領域の上寄り右隣にチェックボックス「Log」が現れるので、そのチェックを外します。

手順2：試験体の材長，断面の寸法，重量を測定します。

手順3：試験体の両端の2か所，または長さ方向の中央1か所に相当する位置にクッション材を置き，その上に試験体を設置します（写真2）。

手順4：「P-Trig」（図4）をクリックします。これは打撃の前に毎回行います。何もしないうちに，測定が終了するようであれば，トリガレベルが低すぎるので，手順1を参考にトリガレベルの値を増やします。

手順5：マイクロホンを試験体の木口近くに設置し，試験体の木口を金づちなどで叩きます。このとき，金づちを叩きつけたりせず，重さにまかせて振り下げ，反発を許すような感じにします。

手順6：トリガがかかると，表示領域が変化しなくなり，下部の表示領域の右上隅に最も強い音の周波数が表示されるので（図5），記録します。

手順7：ヤング係数を計算します。打撃音法ではヤング係数の計算式は次のようになります。

$$E = (2 \times l \times f)^2 \times \rho \div 10^{15}$$

$$\rho = \frac{W}{b \times h \times l} \times 10^9 \quad (\text{長方形断面})$$

$$\rho = \frac{4W}{\pi \times D^2 \times l} \times 10^9 \quad (\text{円断面})$$

この式で， E ：ヤング係数(kN/mm²)， l ：材長(mm)， f ：打撃音の周波数(Hz)， ρ ：密度(kg/m³)， W ：重量(kg)， b ：材幅(mm)， h ：材厚(mm)， D ：直径(mm)です。

この例では断面は長方形で， $W=3.0\text{kg}$ ， $b=38\text{mm}$ ， $h=89\text{mm}$ ， $l=2,269\text{mm}=2.269\text{m}$ ， $f=1162.8\text{Hz}$ でしたので，密度 $\rho = \frac{3.0}{38 \times 89 \times 2269} \times 10^9 = 391\text{kg/m}^3$ ，ヤング係数 $E = (2 \times 2269 \times 1162.8)^2 \times 391 \div 10^{15} = 10.89\text{kN/mm}^2$ が得られます。

図6に原木丸太で測定したヤング係数とそこから一丁取りした製材品のヤング係数の関係を示しました。丸太のヤング係数と製材品のヤング係数は良く対応

しており，ヤング係数が高い製材品が得られそうな原木が分かります。また，1本の原木から複数の製材品を採る場合でも，丸太のヤング係数と製材品のヤング係数の平均値について，同じことが言えます。

ただし，丸太で大径材ともなると，その重量は100kg以上になり，重量測定が難関となるため，重量測定の省略の可能性についても検討されています。

まとめ

北森カレッジでの講義をもとにヤング係数の測定方法について紹介しましたが，教育目的ということもあって，できるだけ既にあるもので済ませようとしているため，効率が良くありません。実務的に行うのであれば，専用機材の導入が望ましいといえます。



写真2 試験体の設置

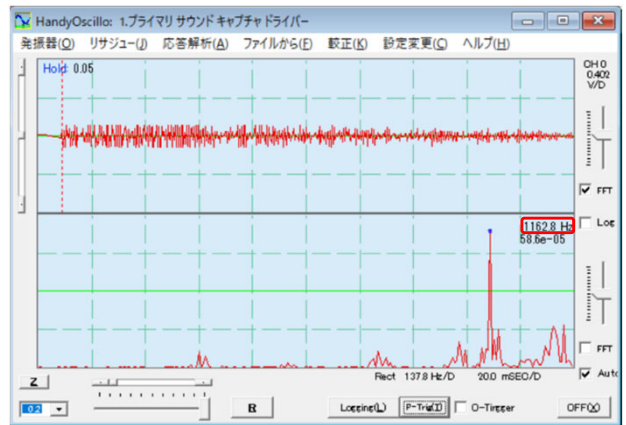


図5 周波数分析の結果

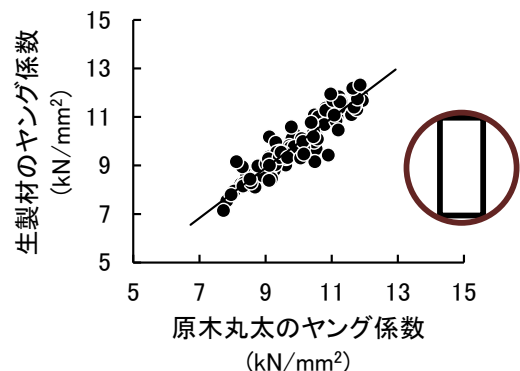


図6 丸太と製材品のヤング係数の関係

持続可能な循環に向けて

岩田 聡

冬はXCスキーをします。速く滑ってやり遂げたということではなく、「完走さえできればよいのだ」「大会に参加できるだけでも十分ではないか」というレベルです。林間コースを滑っていると、天気の良い日には、トドマツの枝に積もった雪が太陽の日射しを受けてあたたまり、ザザッと音をたてて落ちてきます。きらきらと光る様が春に向かっていくことを感じさせます。

太陽の力を得ることは乾燥など木材利用の分野でも効率化につながるがあります。木質バイオマスのエネルギー利用により発生する燃焼灰を、融雪資材として利用することもその一つです。日本の資源を考えたとき、エネルギー源として木質バイオマスの利用は将来も必要なことであり、それによって自ずと発生する燃焼灰も有効に利用できないか林産試験場で検討しました。

2020年に、木質バイオマスをエネルギー利用、製造している道内の149の事業者から燃焼灰についてアンケート調査を実施し、90の事業者から回答を得るとともに聞き取り調査も実施しました。その結果、燃焼灰の発生量は年間およそ7万t、うち未利用のものが6,700tと推計され、大規模の事業者は比較的に利用しているのに対し、小規模の事業者は利用が難しく産業廃棄物として処理していることがわかりました。また、農業、土木、環境分野の道内リサイクル事業者にもアンケートを実施し、5事業者が燃焼灰を活用、12事業者が活用の可能性があることがわかりました。

このことから、小規模な事業者が排出する燃焼灰を地域で利用することが有用と考えられ、その一つの可能性として融雪資材に着目して試験を実施しました。雪上に1m²あたり20gの燃焼灰を散布して太陽の光であたためるといったものです。その結果、燃焼灰をまくと日中に気温が0°C近くまでになれば1日で5cm以上も積雪深が下がりました(写真1)。



写真1
燃焼灰を雪上に散布すると、条件がよければ急速に雪がとける。約2週間の調査期間中、降雪があればそれを除きながら毎日計測。

燃焼灰を融雪資材として使う場合、灰の成分が気になるところです。そこで工業試験場の協力を得て蛍光X線解析装置により燃焼灰の組成分析を行いました。接着剤、塗料が付着していない木質燃料を専燃する道内5カ所のボイラーから燃焼灰数g(写真2)を得てそれぞれ分析し、平均した組成の結果は図1のとおりとなりました。



写真2
解析した燃焼灰

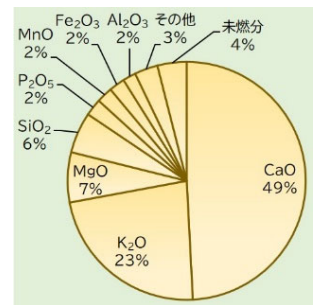


図1
燃焼灰の組成。その他3%に重金属類が含まれる。

燃焼灰は、カルシウム、カリウム、マグネシウムといった無機成分を多く含み、強いアルカリ性を示します。そしてちょっと心配な重金属類として、鉛、クロム、カドミウムなどがごくわずかに含まれます。これは付着した土や、樹木が土中から吸収したこと由来します。重金属類の分量は、下水処理に伴い発生する汚泥を利用した汚泥肥料より少なく、しかし、一部で水に溶ける指標である土壌溶出量基準を上回り、流出しやすいことがわかりました。

森林総合研究所の藤井一至さんという土の研究者が書かれた「大地の五億年」(とっても刺激的な視点!)によれば、日本の土壌は、火山と湿潤な気候から酸性で、作物の生育を阻害します。昔の人は、リトマス試験紙を持つまでもなく、野焼きによる落葉や草木灰が酸性土壌を中和させ、作物の生育がよくなることを知っていたようです。試験研究を通じ、重金属類の課題を乗り越え、エネルギーを得ながら燃焼灰のもつ融雪効果や酸性土壌を中和する特性を活かす環境負荷の小さい持続可能な社会を実現していかなければなりません。

■参考文献

- 折橋健：木質バイオマス燃焼灰の融雪資材としての利用，現代林業2021年4月号，pp.40-43 (2021)。
- 藤井一至：“大地の五億年”，ヤマケイ文庫，(2022)。

(林産試験場長)

行政の窓

令和3年 特用林産統計について

【特用林産物生産額】

令和3年における道内の特用林産物の総生産量は約18,347トン(前年比98%)、総生産額は、約102億円(前年比97%)と共に、4年連続前年を下回りました。

【きのこ類の生産動向】

令和3年のきのこ類の生産量は17,091トン(前年比99%)、生産額は約99億円(前年比97%)と、いずれも前年を下回りました。ただし、道内で最も生産量の多い「生しいたけ」(原木及び菌床)は、生産量5,632トン(前年比104%)で昨年を上回りました。

次いで生産量の多いえのきたけ、3位のぶなしめじは、秘匿措置としておりますが、ともに前年のほぼ横ばいの生産量でした。

道内品種別生産量は、これら3品目で全道きのこ生産量の約70%を占めています。

【木炭の生産動向】

令和3年の生産量は639トン(前年比78%)、生産額は約1.3億円(前年比78%)と、いずれも前年を下回りました。

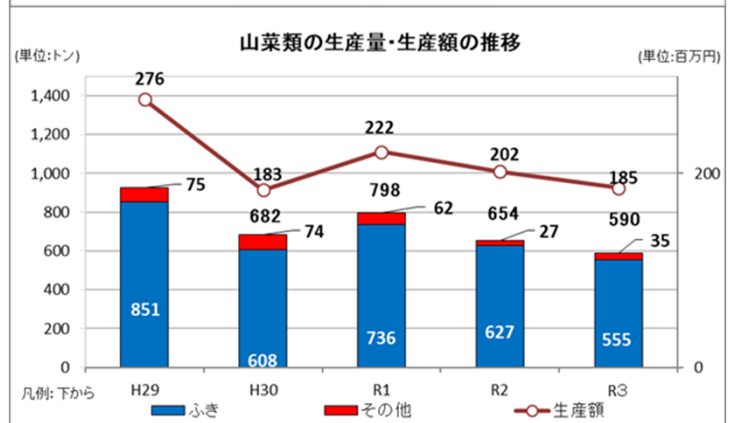
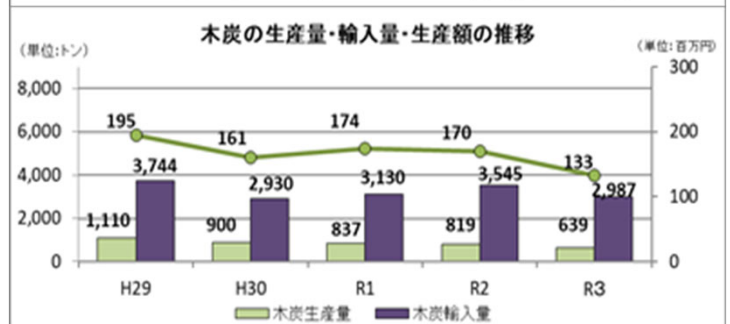
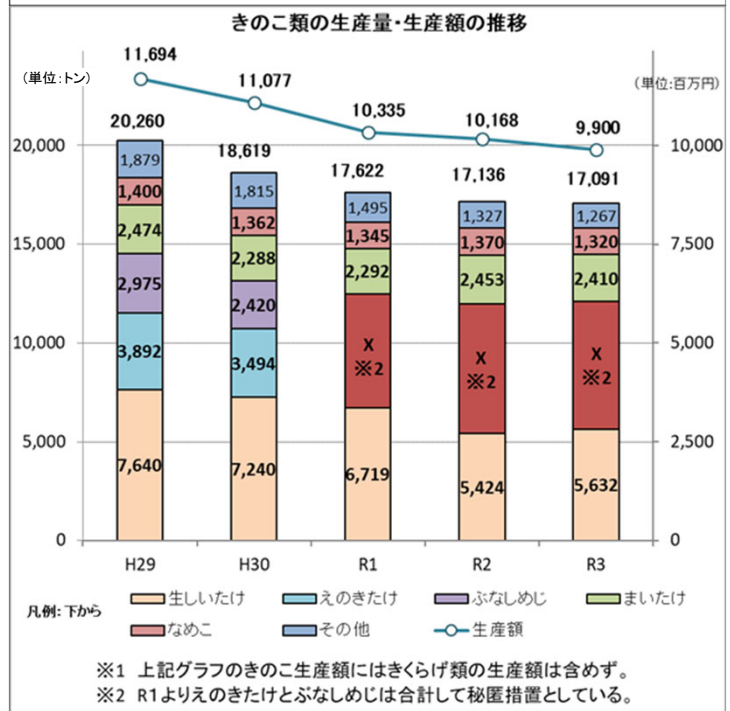
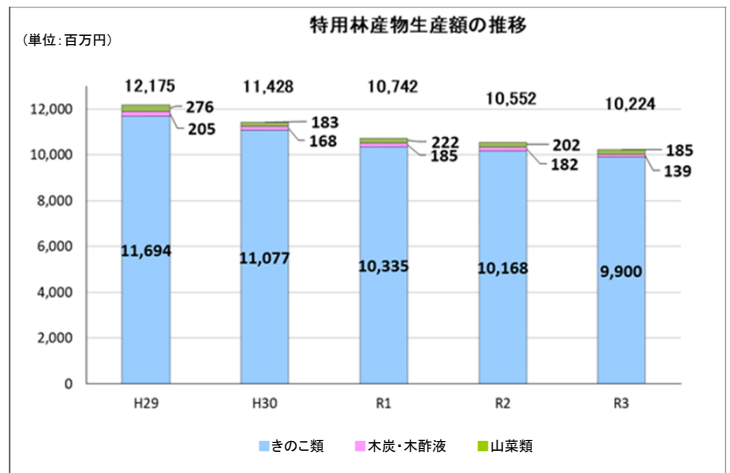
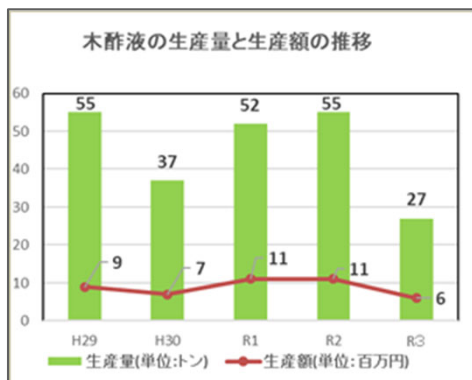
なお、令和3年は輸入木炭も、2,987トン(前年比84%)と、前年を下回る輸入量となりました。

【主な山菜類の生産動向】

令和3年は生産量が590トン(前年比90%)、生産額は約1.9億円(前年比92%)と、いずれも前年を下回りました。

※上記生産額は、全て推計額となります。

※平成30年以降の統計調査の公表にあたっては、調査対象者が2以下の場合、個人又は法人その他の団体に関する調査結果の秘密保護の観点から、当該結果を「X」表示とする秘匿措置を施しています。また、全体(計)から差し引きにより、秘匿措置を施した当該結果が推定できる場合についても「X」表示していません。



(水産林務部林務局林業木材課木材産業係)

林産試ニュース

■北森カレッジのフィンランド研修報告会（林産試向け）

2月16日（金）の午後、北森カレッジのスタッフ、学生さんたちが1月に11日間フィンランドで研修された内容の林産試向け報告会が開催されました。林業先進国フィンランドの現状と、道内林業・木材産業との比較、学ぶべきポイントなどが報告されました。



写真1 報告会の様子

■林産試の冬景色

この原稿を書いている2月中旬の旭川は、最低気温が-20℃を下回る朝があり、厳冬期という表現も大袈裟ではないと感ずます。積雪深さは平年並みとのことですが、雪かきの頻度は多かったような気がします。CLT実験棟の積雪も1月前半には雪庇が大きく垂れ下がっていましたが(写真2左)、測定のために雪庇が取り除かれ、2月中旬にはスッキリとした外観が見られるようになりました(写真2右)。



写真2 CLT実験棟の積雪の様子
(左：1月前半、右：2月中旬)

(林産試験場 広報担当)

北森カレッジニュース

■林業先進国、フィンランドを訪問!

北森カレッジとして初のフィンランドへの訪問が実現しました。

北森カレッジでは、世界的な林業先進地であるフィンランドのリベリア林業専門学校と「職業教育プログラム開発の連携に関する覚書」を令和2年1月に締結しています。

開校以来、覚書の内容に沿いながら様々な連携活動を行ってきました。そうした中で、覚書に記載されてい

ながら、今まで様々な事情から実施が叶わなかった、フィンランド国内での研修(教育体験キャンプ)を、この度初めて実施することができました。

また、今回の渡航に合わせて、令和2年に締結した覚書を新たに3年間更新し、令和8年までの有効期間に延長しました。今後も、リベリア林業専門学校と連携しながら教育内容の充実を図っていく予定です。

(北海道立北の森づくり専門学院 坂田 貴範)

○研修概要

期間	令和5年1月10日～20日(移動日含む)
参加者	計20名(北森カレッジ職員及び生徒、道庁関係者、民間企業、林業試験場)
視察先	林業機械メーカー、林業・林産業関係企業、森林・林業教育機関など



【リベリアでの実習風景】



【覚書の更新】

林産試だより

2023年3月号

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 地方独立行政法人 北海道立総合研究機構
森林研究本部 林産試験場
URL : <http://www.hro.or.jp/fpri.html>

令和5年3月1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