

林産試 だより

ISSN 1349-3132



美深町有林での立木調査と選木実習の様子
(北森カレッジニュースより)



「道民森づくりの集い2023」の様子
(林産試ニュースより)

- ・木材のせん断強さの測り方
- ・木質バイオマスの成分と利用
- ・行政の窓【スマート林業の取組について】
- ・林産試ニュース・北森カレッジニュース

- 1
- 5
- 8
- 9

11
2023



(地独)北海道立総合研究機構
林産試験場

木材のせん断強さの測り方

技術部 生産技術グループ 高梨 隆也

■はじめに

物体が受ける力には曲げや圧縮、引張などのほかに、せん断(図1)というものがあります。日本木材学会の木材学用語集¹⁾ではせん断は「物体の近接した平行な2断面の逆方向に作用する内力-せん断応力-によりずれやすべりを生じる現象」と記載されており、紙をハサミで切ることをイメージすればわかりやすいかもしれません。なお、せん断応力とは、せん断力をそれを受けた断面の面積で割った値であり、せん断強さ(強度)は物体がせん断で破壊する時のせん断応力です。

木材にせん断応力が生じる場面は多くあり、そのせん断強さを把握しておくことは重要です。例えば、曲げ部材では断面内にせん断応力が生じています(図2(a))。面外方向に曲げ荷重を受ける直交集成板(Cross laminated timber, CLT)の直交層ラミナにせん断応力が生じた時、繊維が転がるように作用します(転がりせん断、ローリングシア) (図2(b))。木材の繊維直交方向のせん断強さは他の方向のせん断強さと比較して小さいため、こうした材料のせん断強さを測定することは重要です。

せん断強さの測定方法については、材種や試験装置に応じて様々な方法があります。本稿ではその中から、いす型せん断試験および曲げ型せん断試験について説明します。

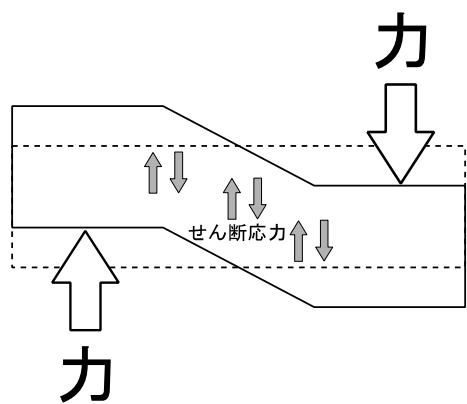


図1 せん断のイメージ

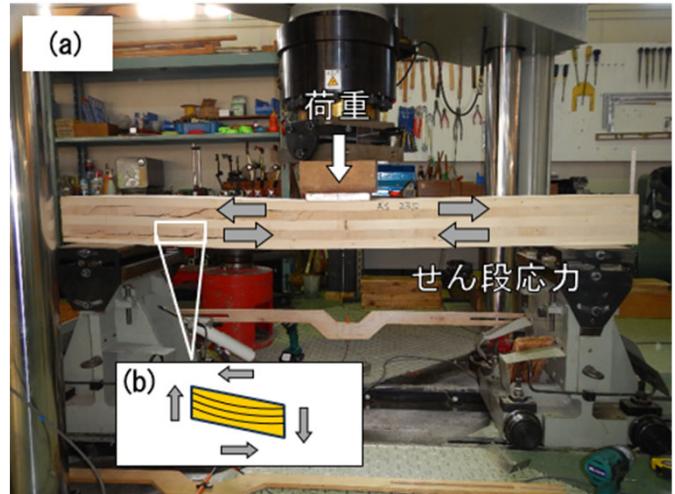


図2 曲げ部材に発生するせん断応力(a)とCLTの直交層ラミナに生じる転がりせん断(b)

■いす型せん断試験

いす型せん断試験とは、その名のとおりいす型に加工した試験体(図3)を用いてせん断強さを求める試験方法です。JIS Z2101²⁾では無欠点小試験体の試験方法として規定されています。得られた最大荷重をせん断面積で除することでせん断強さが算出されます。試験体のいす型形状への加工と専用の治具(図4)は必要となりますが、試験実施が容易であることと、試験体を部材から採取する時の歩留まりが良い方法です。

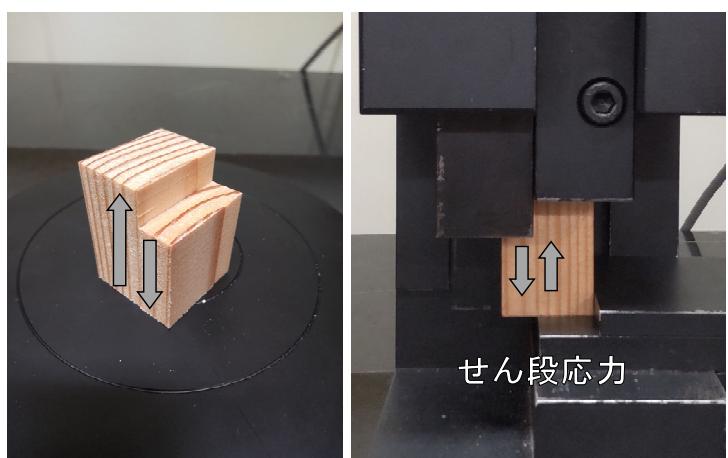


図3 いす型せん断試験体 図4 いす型せん断試験治具

また、集成材および直交集成板の日本農林規格^{3,4)}では接着層の強度試験として同様の方法が規定され

ています。ただし試験体形状がJIS Z2101²⁾の規定とは異なり、上下ともに切り欠きを設ける必要があります(図5(a))。この時、せん断強さの算出(集成材のみ)と共に、木部で破断した面積が破断面に占める割合(木部破断率)を算出します(図5(b))。接着が適切に行われていれば、接着層のせん断強度は木材部分のせん断強度よりも大きくなり、木材部分で優先して破壊が生じるため、木部破断率は100%に近づきます。規定以上のせん断強さと木部破断率であれば、十分な接着性能を有していることが確認されます。

ただし、いす型せん断試験は切り欠き部の近辺へ応力の集中が生じるため、せん断面に生じる力は純粋なせん断応力だけではありません。そのため、得られるせん断強さの評価には注意が必要とされています。



図5 集成材および直交集成板のいす型せん断試験体の形状(a)と木部破断率の観察の様子(b)
(写真は直交集成板)

■曲げ型せん断試験

曲げ型せん断試験は部材に曲げ荷重を与えた時に部材の断面内に生じるせん断応力を評価することでせん断強さを測定する方法です。この方法では通常、部材が一様な断面であれば材の中立軸(材せい方向の中心)に最大せん断応力が生じます。部材をせん断で破壊することができれば、破壊時の最大せん断応力を部材のせん断強さとして評価することができます。構造用木材の強度試験マニュアル⁵⁾においては荷重方法別に3種類の試験方法が規定されています。

一つ目は中央集中荷重方式(A法)(図6, 7)です。材の中立軸に発生する最大せん断応力 f_s は次の式で表されます。

$$f_s = \frac{3F}{4bd}$$

(f_s : 最大せん断応力, F : 荷重, b : 部材の幅, d : 部材のせい)

また、このときの最大曲げ応力 f_b は次の式で表されます。

$$f_b = \frac{3aF}{bd^2}$$

(f_b : 最大曲げ応力, a : 支点から荷重点までの距離, F : 荷重, b : 部材の幅, d : 部材のせい)
このとき, f_s と f_b の比は次のとおりとなり,

$$f_s : f_b = 1 : \frac{4a}{d}$$

たとえば $a = 2.5d$ であれば $f_s : f_b = 1 : 10$ となり、部材のせん断強さが曲げ強さの1/10以下であればせん断で破壊することになります。

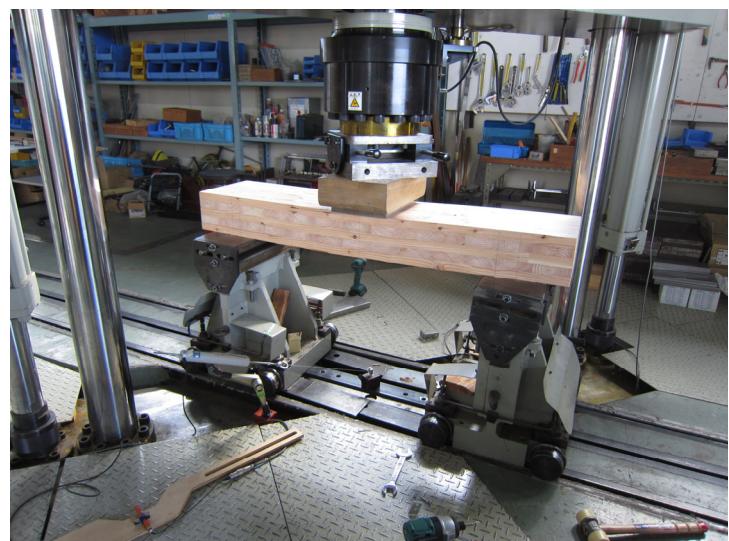


図6 中央集中荷重方式の様子

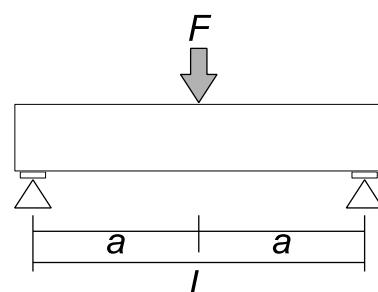


図7 中央荷重方式の荷重模式図⁵⁾

二つ目の方法は4等分点5点荷重方式です(B法)(図8)。この時の材の中立軸に発生する最大せん断応力 f_s は次の式で表されます。

$$f_s = \frac{33F}{64bd}$$

(f_s : 最大せん断応力, F : 荷重, b : 部材の幅, d : 部材のせい)

また、このときの最大曲げ応力 f_b は次の式で表されます。

$$f_b = \frac{9aF}{8bd^2}$$

(f_b : 最大曲げ応力, a : 支点から荷重点までの距離, F : 荷重, b : 部材の幅, d : 部材のせい)

このとき、 f_s と f_b の比は次のとおりとなり、

$$f_s : f_b = 11 : \frac{24a}{d}$$

たとえば $a = 2.5d$ であれば $f_s : f_b = 11:60$ となり、部材のせん断強さが曲げ強さの1/5.4以下であればせん断で破壊することになります。

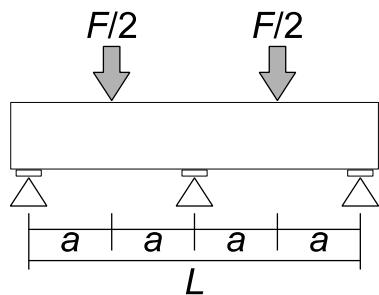


図8 4等分点5点荷重方式の荷重模式図⁵⁾

三つ目の方法は逆対称4点荷重方式 (C法)です (図9, 10)。この時の材の中立軸に発生する最大せん断応力 f_s は次の式で表されます。

$$f_s = \frac{3aF}{2(a+S)bd}$$

(f_s : 最大せん断応力, a : 支点から荷重点までの距離, S : 材長中央部分の荷重点と支点の間の距離, F : 荷重, b : 部材の幅, d : 部材のせい)

また、このときの最大曲げ応力 f_b は次の式で表されます。

$$f_b = \frac{3aSF}{(a+S)bd^2}$$

(f_b : 最大曲げ応力, a : 支点から荷重点までの距離, F : 荷重, b : 部材の幅, d : 部材のせい)

このとき、 f_s と f_b の比は次のとおりとなり、

$$f_s : f_b = 1 : \frac{2S}{d}$$

たとえば $S = a = 2.5d$ であれば $f_s : f_b = 1:5$ となり、部材のせん断強さが曲げ強さの1/5以下であればせん断で破壊することになります。



図9 逆対称4点荷重方式の様子

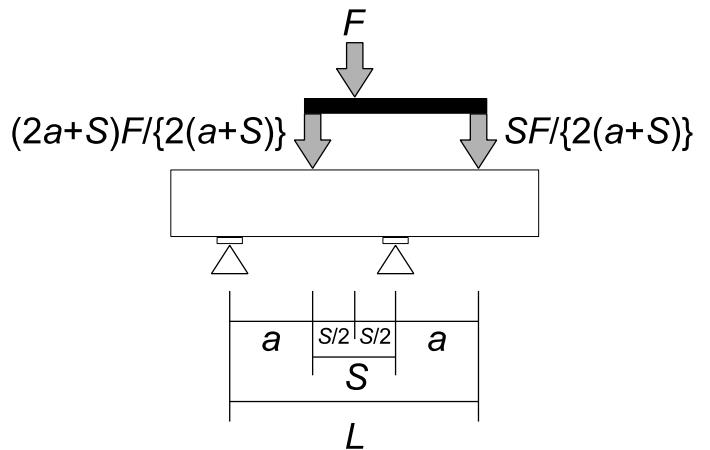


図10 逆対称4点荷重方式の荷重模式図⁵⁾

以上3法の最大せん断応力および $S = a = 2.5d$ の時にせん断破壊が曲げ破壊に先行する条件をまとめると表1の通りとなり、逆対称4点荷重方式 (C法)が最もせん断破壊を起こしやすい試験方法となることがわかります。ただし、実際の試験では試験体寸法や試験機の荷重容量、実施の容易さなどを考慮する必要があるため、適切な方法をその都度選択することになります。

表1 各試験方法の最大せん断応力とせん断破壊条件

試験方法	最大せん断応力	せん断破壊が曲げ破壊に先行する条件(※)
中央集中荷重方式 (A法)	$3F / 4bd$	$\sigma_s / \sigma_b < 1 / 10$
4等分点5点荷重方式 (B法)	$33F / 64bd$	$\sigma_s / \sigma_b < 1 / 5.4$
逆対称4点荷重方式 (C法)	$3aF / 2(a+S)bd$	$\sigma_s / \sigma_b < 1 / 5$

F : 荷重, *b* : 部材の幅, *d* : 部材のせい, *a* : B・C法での支点から荷重点までの距離, *S* : C法での材長中央部分の荷重点と支点の間の距離, σ_s : せん断強さ, σ_b : 曲げ強さ
(※) $S = a = 2.5d$ の場合

■おわりに

本稿では木材のせん断強さの測定方法の一部をご紹介しました。林産試験場ではこれらの方法を用いて、北海道産ツーバイフォー材やCLTの強度規格値制定および、建築基準法37条に基づく材料認定のための強度評価などを行ってきました。今後もさらなるデータ収集および得られたデータの活用を行い、道産材の需要拡大に貢献していきたいと考えています。

■参考文献

- 1) 一般社団法人日本木材学会 木材教育委員会編 木材学用語集, <https://www.jwrs.org/WTerm/> (2023年9月27日閲覧)
- 2) JIS Z2101 : 木材の試験方法、日本産業規格 (2009)
- 3) JAS 1152 : 集成材の日本農林規格、農林水産省 (2023)
- 4) JAS 3079 : 直交集成板の日本農林規格、農林水産省 (2019)
- 5) (公財)日本住宅・木材技術センター：構造用木材の強度試験マニュアル (2011)

木質バイオマスの成分と利用

利用部 バイオマスグループ 戸田 守一

■はじめに

バイオマスの有効利用は地球温暖化対策や持続的な資源利用のトピックにほぼ上がる話です。バイオマスとは *bio-mass* の名のとおり大量にある生物資源のことであり、資源として扱う場合はそのうちの食用に供されないものを一般的に指します。一口にバイオマスと言ってもその種類は様々であり、動物由来や水産物由来などがありますが、研究と利用が最も進んでいると考えられるのが植物由来のバイオマスです。その中でも木材は地球上で最大の量を誇ると言われています。木材は草本類などの他の植物バイオマスよりも保存性に優れるため貯蔵のコストが低く、扱いやすい資源だと言えます。

木質バイオマスの利用はバイオマスボイラーなど燃料として扱うものが広まっていますが、高機能性成分に加工して有効利用するための研究も進められています。本稿では木材成分の加工において重要な化学的な知見と利用形態について解説します。

■木材の構造と成分

木材の顕微鏡写真などを見ると穴の開いた構造をしていることがわかります。この穴の部分は樹木の細胞が成長した後に死に、細胞壁だけが残ることで生じます。細胞壁は植物にのみ存在する動物にとっての骨のようなもので、植物はこれによって重力に逆らって成長することができます。

細胞壁の構成成分はセルロース、ヘミセルロース、リグニン、その他の微量成分の4種類に分けられます。一般的な存在比は重量にして、セルロースが約50%、ヘミセルロースが20~30%、リグニンが30~20%、その他の成分は数%で、針葉樹はリグニンが多く、広葉樹はヘミセルロースが多い傾向にあります。

細胞壁は層構造となっており、植物細胞の肥大成長期には一次壁のみが形成され、成長の終了後に二次壁が形成され強固な組織となります。二次壁の形成はセルロースミクロフィブリルとヘミセルロースが骨格を形成したあとにリグニンが沈着することになれます。各成分の割合は細胞の部位や成長環境、細胞壁内の位置など、様々な条件で異なり、木の曲がっている部分では大きく変わります。

微量成分以外の成分は元素が炭素、酸素、水素のみから構成される炭水化物です。炭水化物は燃やすと空気中の酸素と反応して二酸化炭素と水（水蒸気）になり、その際にエネルギーを放出するため燃料になります。昨今は化石燃料の使用を減らすために木質バイオマス燃料を使う事例が増えていますが、燃やした場合は大気中から固定した二酸化炭素を再び放出してしまうことになるので、地球温暖化対策としての木質バイオマスの利用という観点からすると燃料として使うのは木材が他の用途に利用できなくなつてからが望ましいものです。

■セルロースについて

セルロースはグルコース（ブドウ糖が）重合することで繋がった高分子です。穀物などに含まれるデンプンもグルコースが重合した高分子ですが、グルコースは2種類の構造があり、セルロースは β -構造、デンプンは α -構造をとったグルコースがそれぞれ高分子化したものでわずかな違いで大きく性質が異なります（図1）。

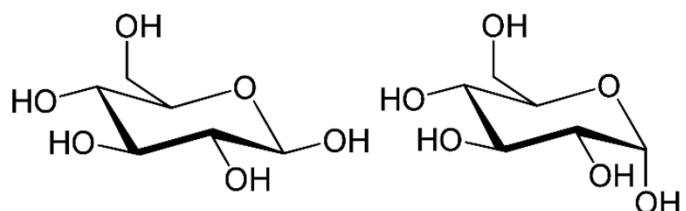


図1 グルコースの2形態
左： β -グルコース 右： α -グルコース

セルロースは会合して分子間水素結合などにより一部が結晶構造を形成することでセルロースミクロフィブリルとなり、さらにフィブリル同士が集まってセルロースファイバーとなります。これによりセルロース素材は綿糸やパルプのように高い強度を持つことができます。また結晶部位の割合や結晶構造の種類によって、同じセルロース素材でも柔らかさなどが異なります。

セルロースの利用は様々な形態があり、紙としての利用はペーパーレス化が進む今でも大きな割合を占めています。木材由来のセルロースを加工する際はパルプを原料として扱うことがほとんどです。

セルロースの加工法の一つに再生セルロースというものがあり、これはセルロースを薬液に溶解させて成形加工し、再びセルロースに戻したもので。代表的なものとしては衣服などに使われるレーヨンやテープなどに使われるセロファンがあります。

セルロースの水酸基（-OH）は化学反応が起こりやすいため、ここに様々なものを結合させる事で通常のセルロースにはない性能を持たせる事ができます。その利用の幅は大きく、食品添加物や化粧品、吸水材等様々なものが開発されてきました。

近年度々話題になる植物からのバイオエタノールやバイオマスプラスチックの生産はセルロースを分解していくと糖になり、糖を発酵させる事でエタノールやプラスチック原料が生産されるという仕組みです。セルロースは結晶構造を持ち、さらに木材は後述するリグニンなどと複合構造を形成するため効率が悪いものです。しかし、植物セルロースは人間の食料と競合せず、保存性も良いため、原料の安定供給という意味では穀物などよりも優れており、研究の進歩が期待されます。

■ヘミセルロースについて

ヘミセルロースとは、水には溶出しないが希アルカリ溶液には溶出する多糖類の総称です。セルロースはグルコースのみで構成されていましたが、ヘミセルロースは様々な種類の糖から構成されています（図2）。

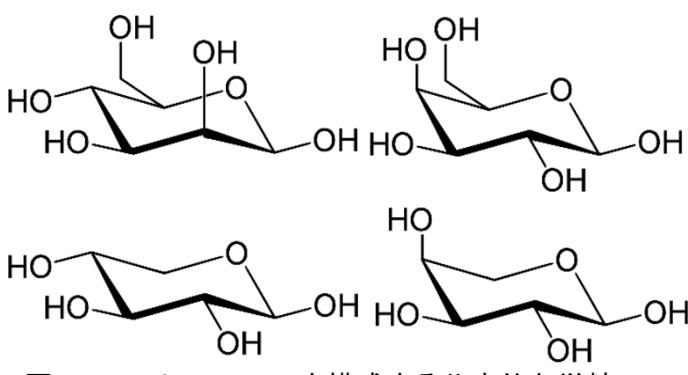


図2 ヘミセルロースを構成する代表的な单糖
左上：マンノース 右上：ガラクトース
左下：キシロース 右下：アラビノース

ヘミセルロースはセルロースほど長い分子ではありませんが枝分かれ構造を取り、セルロースとリグニンをつないで木材の強度を向上させる重要な役割を持つと考えられています。

ヘミセルロースの利用はあまり盛んではなく、キシリトールの原料となるキシランやオリゴ糖などにとどまります。この原因としてはヘミセルロースの

構造が固体や部位で異なるため、抽出して得られた糖の組成が安定せず、高度な機能性材料として扱いにくいことがあります。

■リグニンについて

リグニンは全ての維管束植物の細胞壁に存在し、細胞壁にリグニンが沈着する現象を木化と呼びます。リグニンの機能は多岐にわたり、細胞壁中のセルロース、ヘミセルロースの接着、疎水性による水や養分などの輸送の補助、虫や微生物による害への防御などがあります。なお、リグニンはコケや菌類には存在しませんが、藻類の一部からは発見され、植物がリグニンを生成する目的は陸上に適応することにとどまらない可能性があります。

リグニンの化学構造はセルロースよりも複雑で、芳香環に炭素数3の炭素鎖が結合したフェニルプロパン(C6-C3)と呼ばれる構成単位が、エーテル結合(C-O-C)あるいは炭素-炭素(C-C)結合により高分子化したものです。フェニルプロパン単位の芳香核構造は3位と5位のメトキシ基(-OCH₃)の有無により3種類存在します(図3)。

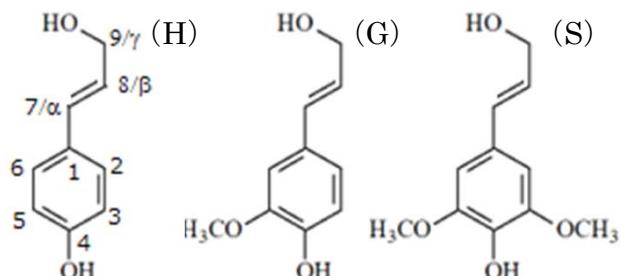


図3 リグニンの構成単位
H: パラヒドロキシフェニル核
G: グアイアシル核 S: シリンギル核

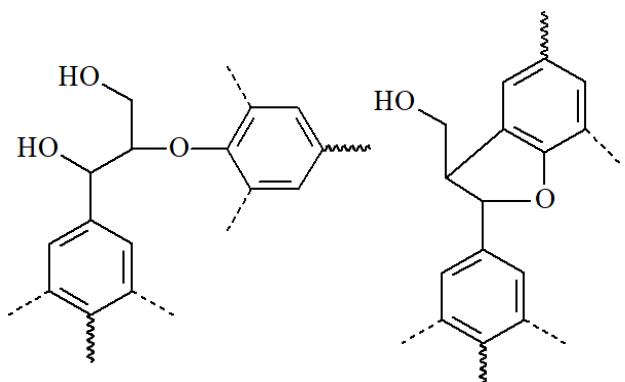


図4 リグニンの結合例
左: β-0-4 右: β-5

構成単位が結合して高分子化することでリグニンとなります。リグニンの結合は生合成によくある酵素によってコントロールされたものではなく、ラジカル結合という酵素が直接には関わらない化学的なプロセスで進行します。さらに、構成単位に結合する部位が複数あり、 β -O-4結合と1位の炭素、4位についていた酸素、メトキシ基がない3位と5位の炭素が結合し得る部位となります。そのため、リグニンの結合様式は一様ではなく、様々な部位がエーテル結合と炭素-炭素結合の2種類でつながっています(図4)。結合様式の割合は β -O-4結合が最も高く、針葉樹ではおよそ50%、広葉樹では80%以上にも達することがあるとの報告があります¹⁾。

パルプ化における化学反応は β -O-4結合の解裂によるリグニン分解を主眼に置いています。 β -O-4結合以外の構造は縮合型とも呼ばれることがあります。 β - β 結合、 β -5結合、 β -1結合、5-5結合などがあります。S核は3位と5位の両方がメトキシ基で埋まっているため、縮合型のバリエーションが少なく、 β -O-4結合に富む高分子構造を作りやすい構造です。

リグニンの利用はパルプ製造の際に排出されるリグニンを高付加価値化して利用するために様々な研究が進められてきました。近年ではバイオエタノール製造の際にも排出されるため注目が集まっています。製造法によって得られるリグニンの性状は異なるため、利用研究の際にはどのようなリグニンを原料とするのか念頭に置くのも重要です。

現在のパルプ産業におけるリグニンの最大の用途は、クラフトパルプ生産の廃液からパルプ化薬品を回収した後に燃焼してパルプ生産のエネルギー源とすることです。燃料としての利用は燃料価格が高騰した際には相対的に価値が高まるともいえます。

燃料以外の用途に古くから用いられているのが、香料となるバニリンの原料であり、G核のリグニンから製造されます。近年では化学合成品が主流ですが、食品という付加価値が高い製品に加工できた例です。工業副産物のリグニンにはセルロース、ヘミセルロース由来の糖も含まれているため、土壤改良材としても用いられます。他にも分散剤など様々な用途で小規模ながら実用化されています。

リグニン利用の一大トピックとして研究されてきたのが高分子材料としての利用であり、樹脂などと合わせて接着剤や樹脂材料とするための研究が行われてきました。しかしながら、大規模な実用化に至っていないのが現状であり、理由の一つがリグニンは不均一な素材であるため、製品の質を安定させ

にくいことです。

■その他の成分について

木材に含まれるセルロース、ヘミセルロース、リグニン以外の成分で熱水や有機溶媒により抽出される成分をまとめて抽出成分と呼びます。一般的な樹種では数%しかない成分ですが、一部の樹種ではかなりの割合を占めることができます。例えば屋久杉などでは10%に迫る場合もあります²⁾。また、抽出されない他の成分も顕著に存在し、樹皮にはタンニンなどが多く含まれています。これらの成分は樹木が環境や外敵から身を守るために生産するものが多く、昆虫や微生物に対して生理活性機能を持ち、樹皮や葉などに多く分布しています。

抽出成分の利用は古くから精油として香料や薬として利用されてきました。現在でも香料、医療、化粧品などの機能性成分としての利用のほか、接着剤の原料などにも利用されています。機能性成分は付加価値が高いため上手く回収することで林業の副産物として期待できます。

■おわりに

木材と人間の歴史は深いものですが、植物バイオマスを利用するための科学的な研究はまだ浅く、樹木全体を十分に有効利用できているとは言えません。例えば樹木を伐採した際に生じる枝や葉などはほとんどが山中に放棄されていますが、かさ張るため輸送コストが高いことが理由です。特に日本の林業は急峻な山間部で行われているため、伐採と輸送にかかる労力が高く、樹木1本あたりの価値を高める事は重要な課題であると考えられます。

化石資源と鉱物資源に乏しい日本では植物バイオマスは再生産可能な資源として非常に重要な資源です。現在は経済的な側面からまだ石油製品などに押されていますが、地球温暖化対策への意識に高まりからか徐々に浸透してきている様子も見られます。バイオマス利用の技術は一朝一夕で進展できるものではないので、今後も弛みなく発展させていきたいものです。

■参考文献

1. J. Ralph, C. Lapierre, W. Boerjan, : Current opinion in biotechnology, 56, 240-249 (2019)
2. 甲斐勇二, 大平辰朗 : 静岡大学農学部演習林報告, 10号, p85-91 (1986)

行政の窓

スマート林業の取組について

◆はじめに

本道では、カラマツやトドマツなどの人工林資源が充実するとともに、素材生産量や高性能林業機械の導入台数が全国一であり、他県に比べて広大で地形が平坦である優位性を活かし、北海道ならではの林業が展開されています。

一方で、今後、森林づくりを担う人材の不足が懸念されており、限られた労働力で、適切な森林の整備・管理を進めるためには、ICT等の新たな技術を積極的に活用していくことが必要であり、道では関係機関の協力のもと、新たな技術の実証や普及に取り組んでいます。

◆令和5年度(2023年度)の取組

(1) 産学官金による実証

道内の市町村や森林組合、木材関連団体、大学、金融機関、道などの産学官金からなる「スマート林業EZOモデル構築協議会」では、今年度から参画団体や地域を拡大して国事業「デジタル林業戦略構築推進事業」を活用しながら実証を行っています。

具体的には、植林・下草刈りの機械化と苗木の位置情報に基づく走行・作業による省力化、ICTハーベスタによる生産情報のデジタル化と、製材工場の土場での生産管理への活用、山間部の携帯電話不感地帯での通信環境の整備など、資源管理から造林、伐採、加工までの情報をデジタルでつなぐモデル構築に向けて、各地域で実証を進めています(写真1)。



写真1 通信環境を整備した山林内でのICTハーベスタの試行

(2) スマート林業機器の導入支援

スマート林業機器の導入を一層推進するために、「北海道スマート林業機器導入促進事業」により、森林資源を把握するためのドローンやリモコン式の下草刈り機械(写真2)などに対して導入支援を行っています。機器導入の要望がある方は、各振興局の林務課にお問い合わせください。



写真2 リモコン式の下草刈り機械

(3) スマート林業技術の普及

道では「スマート林業実装推進事業」により、ICTを用いた機械等の現地実演会の開催や、技術を活用できる人材の育成研修(写真3)など、様々な技術の普及に向けた取組を全道各地で展開していくきますので、興味がある方は是非ご参加・お問合せください。

また、YouTubeチャンネルで、スマート林業に関する取組実績や実演会の様子などを配信していますので、是非ご覧ください。

～YouTubeチャンネル～

昨年度の取組などはこちらから

北海道スマート林業 YouTube



写真3 位置誘導装置付き電動オガによる人材育成研修

(水産林務部林務局林業木材課スマート林業)

林産試ニュース

■「道民森づくりの集い2023」に出展しました

令和5年10月22日（日），札幌市にある「サッポロさとらんど」で開催された「道民森づくりの集い2023」に出展しました。このイベントは，森や木にふれ合うきっかけを通じて，森づくりの大切さや木材利用の大切さを知ることを目的としたものです。林産試験場は，きのこの形に加工した道産のカラマツとトドマツに，イラストなどを描いてオリジナルのストラップを作るワークショップを開催しました。子供から大人まで思い思いの絵を描いていき，完成すると「楽しかった」と笑顔を見せっていました。



【出展名「きのこストラップづくり」】



【ワークショップ参加者の様子】

(林産試験場 広報担当)

北森カレッジニュース

■美深町有林での立木調査と選木実習

1年生34名が美深町有林において立木調査と選木実習を行いました。

実習は，2つのグループに分かれ，それぞれ一泊二日の日程で美深町有林のトドマツとグイマツ雑種F1の人工林で標準地調査と標準地内の伐採木を選木しました。

実習では，生徒同士が話し合い調査地を設定し，自分たちで決めた基準に基づき伐採木を選定していきます。場所によっては背丈ほどのササもありましたが，生徒たちは気にすることもなく実習に取り組んでいました。残念ながらクマの痕跡があったため実習が短縮になったグループもありましたが，無事実習を終えることができました。

二日目は美深町内道有林の森林認証材で建設された美深町立仁宇布小中学校を見学。その後は松山湿原に移動し主任講師から樹木の解説を受け，樹木テストをしながら下山し帰路につきました。



【実習の様子】



【樹木解説に聞き入る生徒】

(北海道立北の森づくり専門学院 那須 貴洋)

2023年11月号

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 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11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