

薪の燃焼性能について

道総研林産試験場 西 宮 耕 栄



1. はじめに

近年の環境への意識の高まりなどにより、バイオマスのエネルギーの利用が進んでいます。その中で、身近に感じられるものとしては、昔からある薪があげられます。薪ストーブなどのある空間は木のぬくもりを感じられる空間でもあり、インテリアやデザインの面から、カフェやペンションのような商用施設¹⁾だけでなく、一般家庭²⁾でも、暖炉や薪ストーブを設置している例が見られます。また、実用的な側面を兼ねて薪釜を設置したレストランやベーカリーなども見受けられます³⁾。ビニールハウスの暖房に薪ボイラーを採用した例³⁾もあり、条件によっては薪を追加することなく1週間程度連続して燃焼可能な燃焼機器も見受けられます⁴⁾。今後も薪の需要が高まっていくと考えられますが、燃料として好ましい薪とはどのようなものなのでしょうか。ここでは、薪に必要な燃料としての性能について、改めて考えてみたいと思います。

2. 薪とは

薪とは、一定の長さに切った原木を数分割して乾燥したもので、特徴は表1のとおりです⁵⁾。一般的には、薪の原木を入手し、専用の電動あるいはエンジン式薪割り機などで薪をつくりませんが、割りやすい樹種だと、人力で作業することも可能です。近年ではホームセンターなどで購入することもできます。なお、令和元年度における道内の薪の生産量は10,872m³であり、国内の生産量の14.7%を占めています⁶⁾。

3. 薪に求められる燃焼性能について

燃料としての薪に必要な性能を考えてみたいと思います。薪ストーブの使用を想定した場合、まずは、寒い部屋を速やかに暖めて、快適な温度を維持する必要があります。そこで、薪に求められる燃焼性能としては、①火力（発熱量）、②着火のしやすさ（着火時間）、③火保ち（ひもち）（炭化速度、発熱速度）があげられます。また、これらに影響する④含水率も重要な指標になります。含水率は、燃焼性能やすすの発

生にも関係してきます。以下、これらの項目について記載していきたいと思います。

表1 薪の特徴⁵⁾

	特徴
外観	
加工方法	・一定長さに切った原木を数分割して天然乾燥する
特徴	・省エネルギー加工 ・長時間燃焼可能 ・ストーブが簡便
欠点	・燃焼機の自動化が困難 ・重く持ち運びにくい ・形状、寸法がばらつく

3.1 火力（発熱量）

薪の火力に対応する性能は、発熱量とするのが妥当だと考えられます。薪ストーブを設置する際には、暖房する部屋に必要な熱量を供給できる機種を選定する必要がありますが、その目安となるのが発熱量です。

含水率0%の全乾状態に換算した総発熱量は、針葉樹で20MJ/kg、広葉樹で19MJ/kgと若干針葉樹の方が高めです。これは重量あたりの総発熱量ですので針葉樹の全乾密度を仮に0.4g/cm³、広葉樹を0.5g/cm³として容積あたりに換算すると、針葉樹で8.0MJ/L、広葉樹で9.5MJ/Lとなり、容積あたりの総発熱量では広葉樹の方が高くなります。

なお、薪の使用時の含水率は15-20%程度（湿量基準）と考えられるので、使用時の薪の総発熱量は16-18MJ/kg程度になると思われます。図1に木材の含

水率と発熱量との関係を示しましたが、薪の含水率が高いと発熱量が低下するので、当然ながら、十分乾燥した薪を用いるのが好ましいと考えられます。

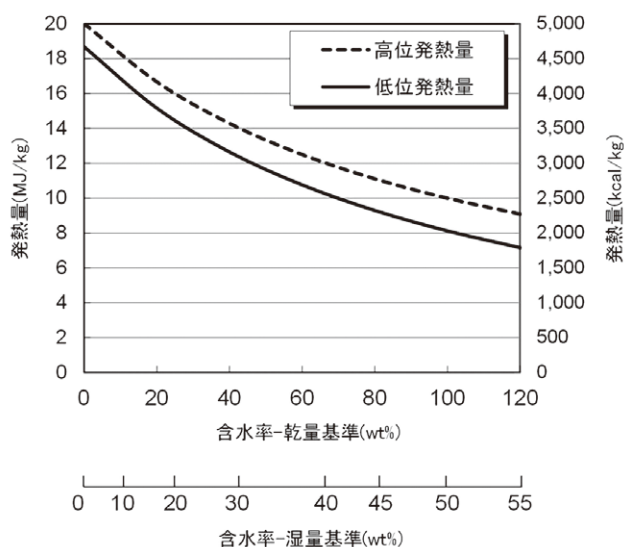


図1 含水率と発熱量の関係⁷⁾

※高位発熱量：総発熱量ともいい、室温の木材を完全燃焼させ、発生した燃焼ガスを室温にまで冷却した場合に計測される発熱量。燃焼時に発生した水蒸気も室温まで冷却するので、水蒸気の凝縮潜熱も含んでいる。

※低位発熱量：総発熱量から水蒸気の凝縮潜熱を差し引いた発熱量。真発熱量とも言う。高温の水蒸気のままでは、水蒸気の凝縮潜熱は熱として利用できない。

3.2 着火のしやすさ（着火時間）

薪の着火のしやすさに対応する性能は、薪の着火時間と考えるのが妥当です。薪ストーブによる暖房を想定した場合、薪の着火が遅いと部屋が暖まるまで時間がかかることになります。

木材の燃焼の理論によると、木材の着火は以下の状況になると起こるといわれています⁸⁾。

- ①熱分解生成物と空気よりなる可燃性混合気層が燃焼に必要な濃度になること
- ②可燃性混合気層の燃焼に必要なエネルギーが供給されること

たき付けの際、薪に着火する場合は、着火剤の使用などで、種火が供給されていると考えられ、薪をくべるときは、すでに燃えているところに追加することになります。これらの状況では、②の可燃性混合気層の燃焼に必要なエネルギーは供給されていると考えられ

ます。そのため、薪が燃えるためには①の熱分解生成物が必要な濃度になることが必要と考えられます。

木材の着火性を評価するのにISO5657に規定されている着火性試験装置を利用した研究では、板状の試験体を用いた場合の木材の着火時間について以下のとおり報告されています⁹⁾。

- ①木材の厚さの影響は小さい
- ②木材の密度に比例する
- ③木材の密度と着火時の表面温度との間には関係は見られない
- ④木材の着火は、木材表面の熱分解速度に影響され、表面温度の上昇速度に依存する

当然ながら、火に当たる面積の広い方が、表面部の温度上昇が速くなるので、たき付けの段階では、同じ体積の薪を使用すると想定した場合、大きな薪を1本使うよりは数本の細い薪を使った方が有利になります。もちろん、含水率の低い方が温度上昇も速くなります。着火を速やかに行うためには、直径の小さい薪を使う、密度の小さい薪を使う、乾燥した薪を使うことが重要になってきます。この点では、一般的に言われているように、針葉樹の密度は広葉樹と比較して小さいので、着火用の薪としては針葉樹の方がよく用いられる傾向があります。

3.3 火保ち（炭化速度・発熱速度）

一度、薪が着火すると薪の燃焼により発熱するようになりますが、火保ちのいい薪とは、一定レベル以上の熱を持続して発生し、燃焼を継続していくのが可能なものと言えます。

木材の燃焼は、初期に有炎燃焼（発炎燃焼）し、木材が炭化したら、無炎燃焼（おき燃焼）となって、ゆっくり燃焼する経過をたどります。火保ちに対応する木材の燃焼に関する性質としては、炭化速度、発熱速度などが対応します。近年、木材の防火材料開発には、板状試験体の燃焼時の発熱量などを精密に測定可能なコーンカロリメーターなどの評価機器が使われるようになってきています。現状では、薪の燃焼や発熱速度に関する評価は、実際に燃やして評価するなど、漠然としていましたが、ここでは、コーンカロリメーターを用いた実験結果を参考に、薪の火保ちについて考えてみたいと思います。

まず、コーンカロリメーターにより木材の燃焼時の重量減少量が測定できます。木材燃焼時の重量減少

量と、炭化速度や炭化深さとの間には高い相関関係があることがわかっています¹⁰⁾。また、炭化速度や発熱速度については、針葉樹では密度の影響、広葉樹では木材の組織構造に関する道管要素の影響が大きいと言われています。薪の密度は、着火時間や炭化速度にも関係する木材の性質ではありますが、特に広葉樹では組織構造も関係してきますので、単に薪の密度が小さいと炭化速度が速いとは一概に言い切れない場合があります。

次に木材の発熱速度について考えてみます。コーンカロリーメーターによる木材の発熱速度の変化は図2のような経過をたどるのが一般的です。まず、木材に着火したときに急激に発熱速度が上昇（図2-I）します。木材の燃焼により、炭化した層が生成しますが、炭化層の生成後は、一旦発熱速度が低下し、炭化層が木材の裏面に拡大していきます（図2-II）。裏面が燃焼開始するとまた発熱速度が上昇し（図2-III）、裏面の有炎燃焼が終わると無炎燃焼に移行（図2-IV）します。木材の厚さが厚くなるとIIの時間が長くなり、薄い木材の場合はIIの過程を経ずにIIIに移行する場合もあるので発熱速度は速いま経過することになります。木材の厚さが厚くなると、裏面の有炎燃焼開始までの時間が長くなるので、寸法の大きい薪を用いると、燃え尽きるまでの時間は長くなると考えられます。

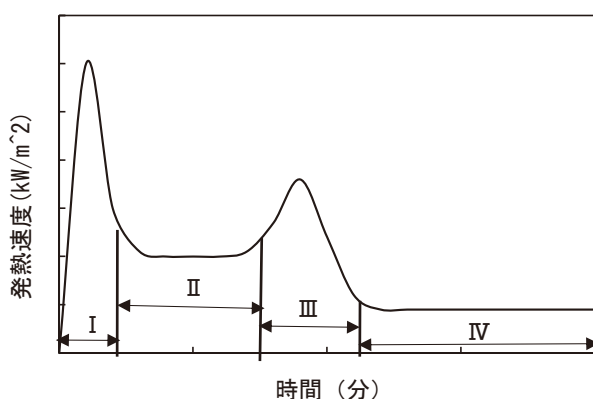


図2 コーンカロリーメーターによる
発熱速度の経過の模式図

発熱速度に関しても、基本的に密度の大きい樹種の方が発熱速度は大きい傾向がありますが、薪の組織構造や化学成分の違いによりその原理から外れる樹種もあるので、一概に広葉樹の薪の火保ちが針葉樹と比較すると良いとは言いきれないことがあります。また、初期含水率の小さい方が、発熱速度は速くなる傾向が

あります¹¹⁾。

無炎燃焼時の発熱速度は樹種にあまり関係なく40～60kW/m²程度になるので、有炎燃焼時の重量減少量が少なければ、無炎燃焼が長く続くと想定され、火保ちがよいと考えられます。木質ペレットの試験結果ですが、有炎燃焼時の発熱量、重量減少が小さければ、無炎燃焼時の発熱量が多くなり、その分燃焼が継続すると考えられています¹²⁾。今後、薪の燃焼性についてコーンカロリーメーターを利用したデータの蓄積が多くなると、薪の燃焼性の評価がより正確になると考えられます。

3.4 薪の含水率と乾燥期間

薪を利用する際は、薪割りの後、屋根付きの薪小屋などで、天然乾燥させることが必要です。人工乾燥させた薪もあるようですが、天然乾燥の薪の方が多く流通しているようです。

薪の乾燥期間としては、一般的には1年から1年半程度必要といわれていますが、薪の乾燥自体は、雨のかかりにくい屋根付きの場所や、室内で保管すれば、針葉樹の場合で、2、3ヶ月程度で薪として使用可能な含水率まで低下するという研究報告があります¹³⁾。季節の違いは、乾燥初期の乾燥速度に影響を与えますが、1ヶ月程度で乾燥速度が低下し、あまり長期間の乾燥は効果的ではないとの報告があります¹⁴⁾。広葉樹では1年間の乾燥期間でも平衡状態に達していない場合もありますが¹⁵⁾、長期間の乾燥の効果は小さいと考えられます。なお、これらの結果は主に道外で行った試験によるものですので、北海道では積雪を考慮した薪生産、乾燥のスケジュールを組むことも重要と考えられます。

個人での薪の利用を想定すると、年間で必要になる量を作業しやすい時期に確保することになるので、結果的には、1年程度は乾燥させることが多くなります。重要なのは、樹種よりも十分乾燥させた薪を使用することでしょう。乾燥した薪を使用すると、重量も軽くなり、着火も速く、特にマツ系の樹種でも、すすの発生が少なくなりますので、煙突の清掃などの点からも有利になります。

4. 薪の樹種別燃焼特性

ここまで、薪の燃焼特性について解説しました。道内、道外産の薪に使われている樹種について、文献を

参考に、比重、総発熱量、着火時間、発熱速度、薪の割りやすさなどの薪の燃焼性や生産にかかわる性能値の一覧を表2に示します。

薪の性能一覧についてはアウトドア関係や薪ストーブの会社のHPなどで掲載されているものも参考にはなりますが、この表では、試験データも掲載してあるので、感覚的な薪の性能評価だけでなく、実測値も参考にして、適切な薪を選択する一助になればと考えています。

5. おわりに

チップ、ペレット、非木質系など各種バイオマス燃料の規格化が国際的にすすんでおり、薪についても国際的な規格が制定され¹⁶⁾、国内でも薪の規格化について議論する動きがあります。寸法については国内事情を考慮すると多少弾力的な運用にはなりますが、その他の規格は国際規格を準用すると思われます。チップやペレットは自主規格も制定されており、特にペレットでは規格制定により生産量が増えた状況もあります¹⁷⁾。薪も規格化されると、それにあった燃焼機器が普及し、そのことにより薪の品質や生産も増加し、安定してくると想定され、さらなる利用拡大が期待されます。

参考文献

- 1) 北海道：木のぬくもりを感じる空間，<https://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/rrm/chizai/makipelletpr.html>，2021年8月13日参照。
- 2) 北海道：薪の利用事例3，恵庭市薪ストーブユーザー，https://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/rrm/04_mokusan/makizirei3.html，2021年8月13日参照。
- 3) 北海道：薪の利用事例2，七飯町ビニールハウス，https://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/rrm/04_mokusan/makizirei2.html，2021年8月13日参照。
- 4) ヒグマ乾燥機株式会社：木質バイオマス温風発生装置「エコボちゃん」，<http://higumakansouki.jp/product/hgm-300/>，2021年8月13日参照。
- 5) (公社)日本木材加工技術協会編：“令和2年度木材乾燥講習会テキスト”，(公社)日本木材加工技術協会，東京，p.186(2020)。
- 6) 北海道：北海道特用林産統計，[https://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/rrm/04_mokusan/toukei.html](https://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/rrm/04_mokusan/tokusan-toukei.html)，2021年8月13日参照。
- 7) (公社)日本木材加工技術協会編：“令和2年度木材乾燥講習会テキスト”，(公社)日本木材加工技術協会，東京，p.189(2020)。
- 8) 農林水産省林業試験場監修：木材工業ハンドブック改訂3版，丸善，東京，p.763(1982)。
- 9) 原田寿郎，平田利美：木材学会誌，40，2，pp.204-212(1994)。
- 10) 原田寿郎：木材学会誌，42，2，pp.194-201(1996)。
- 11) 菊地伸一，河原崎政行：林産試験場報，22，2，pp.1-6(2008)。
- 12) 上川大輔：森林総合研究所交付金プロジェクト研究成果集，28，pp.15-18(2010)。
- 13) 佐野哲也，井春夫，吉田貴紘：日林誌，93，pp.133-138(2011)。
- 14) 佐野哲也，井春夫，吉田貴紘，大原誠資：日林誌，94，pp.142-148(2012)。
- 15) 坂田賢吾，木平英一，安江恒：第65回日本木材学会大会研究発表要旨集，東京，Q17-P-F06(2015)。
- 16) ISO17225-5: Solid biofuels - Fuel specifications and classes - Part 5: Graded firewood (2021)。
- 17) 農林水産省：農林水産省特用林産物生産統計調査，https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/tokuyo_rinsan/，2021年8月13日参照。
- 18) 日本木材学会編：“増補改訂木材科学実験書Ⅰ．物理・工学編”中外産業調査会，東京，p.367(1989)。
- 19) 関根秀樹：“焚き火大全”，吉長成恭，関根秀樹，中川重年編，創森社，東京，p.63(2003)。
- 20) FIRESIDE：FIREWOOD薪について，<https://www.firesidestove.com/howto/firewood.html>，2021年8月13日参照。
- 21) 里中聖一：北海道大学農学部演習林研究報告22，2，pp.609-814(1963)。
- 22) 原田寿郎：木材工業，59，10，pp.454-457(2004)。
- 23) 山田敦：林産試験場だより，2015年7月号，p.1(2015)。
- 24) 道総研林産試験場：道産木材データベース，<http://www.hro.or.jp/list/forest/research/fpri/gijutsujoho/doumoku-db/doumoku/doumoku-index.htm>，2021年8月13日参照。
- 25) 関野登，小藤田久義，阿部一成，東野正：木材学会誌，57，2，pp.101-109(2011)。
- 26) 中川重年，松村正治：神奈川県自然環境保全センター報告，1，pp.21-28，(2004)。

表2 主な道産材、道外産材の薪としての性能

樹種	気乾 比重 ^{a)}	火力 ^{b)}	総発熱量 ^{d)} 全乾基準 (MJ/kg)	着火 性 ^{b)}	着火 時間 ^{d)} (s)	重量減少 速度 ^{d)} (g/m ² s)	平均発熱 速度 ^{d)} (kW/m ²)	割りやすさ/ 煙/火の粉 /火保ち ^{b)}
道産針葉樹<主に道産木材データベース ²⁴⁾ 掲載分>								
カラマツ	0.50	○	20.60	◎	13.0	9.5	110	○/△/△/△
トドマツ	0.40	○	20.80	◎	10.4	8.7	118	○/○/-/△
エゾマツ	0.43	○	20.26	◎	13.9	9.2	116	○/◎/-/△
アカエゾマツ	0.43 ^{d)}		20.22					
ヨーロッパトウヒ	0.34 ^{d)}		20.39					
ストロブマツ	0.33 ^{d)}		20.93					
イチイ	0.51	◎	21.65	◎				◎/△/-/△
スギ	0.38	○	20.31 ^{d)}	◎	8.6	7.9	117	◎/△/△/△
ヒバ	0.45	○	20.26	◎	13.7	9.6	126	◎/△/-/△
その他針葉樹<主に文献 ¹⁹⁾²⁰⁾ 掲載分>								
アカマツ	0.52	◎	19.06 ^{d)}	◎	13.1	10.7	132	○/△/○/△
モミ	0.44	○		◎	10.8	8.1	118	◎/△/△/△
ヒノキ	0.44	○	21.09 ^{d)}	◎	10.3	9.0	114	◎/△/◎/△
コウヤマキ	0.42	○		◎				◎/◎/-/△
道産広葉樹<主に道産木材データベース ²⁴⁾ 掲載分>								
シラカンバ	0.64 ^{d)}	○	19.64	◎				◎/△/○/△
ウダイカンバ	0.67	◎	19.68	○				-/◎/-/△
ダケカンバ	0.69 ^{d)}	◎	19.68	○				-/◎/-/△
ブナ	0.65	◎	19.68	○	21.6	16.5	190	◎/◎/◎/○
ミズナラ	0.68	◎	19.64	○	16.5	14.3	177	○/◎/◎/◎
ホオノキ	0.49	○	20.14	○	13.3	11.4	147	◎/○/-/○
エゾキヌヤナギ	0.45 ^{d)}	△	19.80	○				◎/△/○/△
カシワ	0.65 ^{d)}		20.05					
ヤマナラシ	0.45 ^{b)}							
ドロノキ	0.42		19.76					
オニグルミ	0.53		19.43					
アサダ	0.73		19.68					
ハンノキ	0.53		20.13					
キタコブシ	0.44 ^{d)}		20.18					
シナノキ	0.50		19.89		12.9	15.5	199	
オオバボダイジュ	0.33 ^{d)}		19.81					
エゾヤマザクラ	0.62 ^{d)}		19.76					

ナナカマド	0.57 ^d		19.72					
イタヤカエデ	0.65	◎	19.55	○	22.4	15.9	181	△/◎/◎/◎
アオダモ	0.71 ^g	◎	19.76	○				-/◎/-/◎
ヤチダモ	0.55		19.72					
トチノキ	0.53 ^g	○	19.51	○				-/○/-/-
ミズキ	0.57 ^d		19.80					
ハルニレ	0.63	○	19.89	○				△/-/◎/-
オヒョウ	0.53 ^d		19.85					
カツラ	0.50		19.85		13.1	11.5	144	
センノキ	0.52		19.72					
イヌエンジュ	0.54 ^d		20.81					
キハダ	0.49		19.43					

その他広葉樹<主に文献¹⁹⁾²⁰⁾掲載分>

ケヤキ	0.69	◎		△	25.4	16.7	158	△/-/◎/○
コナラ	0.67 ^g	◎	19.08 ⁱ	○				○/◎/◎/○
クヌギ	0.85 ^g	◎	19.78 ⁱ	△				△/◎/◎/◎
カシ	0.83 ^g	◎		△				△/◎/-/◎
ウバメガシ					23.7	16.4	170	
アカガシ	0.87				32.9	18.6	155	
シラカシ	0.83							
アラカシ			20.05 ^j					
クリ	0.60	○	19.80	△	16.0	11.5	122	◎/◎/△/○
サクラ	0.60 ^g	○		○				○/◎/◎/○
ミズメ	0.72	◎		○				△/◎/-/△
ポプラ		△		◎				◎/-/○/-
タモ	0.65 ^g	◎		○				△/◎/-/○
キリ	0.30	△		○	8.4	7.1	111	◎/◎/-/△

a) 文献 18)参考 (気乾比重)

b) 文献 19)および文献 20)を参考に記載 (火力・着火性・割りやすさ・煙・火の粉・火持ち)

火力 (◎:大, ○:中, △:小), 着火性 (◎:優, ○:良, △:可)

割りやすさ (◎:楽, ○:普通, △:難), 煙 (◎:少, ○:中, △:多)

火の粉 (◎:少, ○:中, △:多), 火保ち (◎:優, ○:良, △:可), -:記載なし

c) 文献 21)参考 (気乾比重の欄に記載した値は容積密度数, 総発熱量は MJ/kg に変換)

d) 文献 22)参考 (着火時間・平均発熱速度 (300 秒)・重量減少速度)

e) 文献 23)参考 (総発熱量)

g) 文献 19)参考 (気乾比重)

h) 文献 24)参考 (気乾比重)

i) 文献 25)参考 (総発熱量)

j) 文献 26)参考 (総発熱量・単位は MJ/kg に換算・辺材部の値を記載)