

第2章 木材チップの含水率

2.1 調査目的及び調査方法

近年、木材チップは従来からの主用途である製紙用やボード用に加えて木質バイオマスとして燃料用の需要が高まりつつある。木材チップを燃料用として扱う場合、その発熱量は木材中の水分に影響される。ここでは、燃料木材チップの性能規格を制定するため、各関係業界で扱われている木材チップの含水率に関する調査を行った。

まず、各関係産業の木材チップの実測、含水率に対する意識と含水率測定方法および一般生産者に受け入れ可能な燃料チップの含水率値を調査した。次に、その結果を基にして、各産業の標準的な含水率値や含水率に対する発熱量を実態合わせて解析した。また、比較的含水率が高い原木チップや製材チップから燃料用木材チップを生産する場合のコストを試算した。

2.2 チップ生産使用工場

調査対象は、木材チップを生産あるいは原料や燃料として使用している工場とした。対象は北海道地区、埼玉地区、静岡地区、島根地区、宮崎地区の合計5地区の13社とした。業種は、チップ生産、発電、製紙、化学加工、ボード生産、製材等であった。それらの概観を以下に述べる。尚、チップ生産工場は実名でその他は記号等で社名を示した。

2.2.1 静岡チップ工業株式会社

静岡チップ工業株式会社は、家屋解体材(垂木や柱材)、廃パレット、梱包廃材、木材工場廃材、伐採木等を破碎により木材チップ化し製紙原料、木質ボード原料およびボイラ燃料として生産していた。防腐剤等の薬品処理材に関しては目視等で確認することにより除外していた。ダストは畜産敷料等として扱われていた。解体材等の原料持ち込みに対しては2.5円/kgの処分量を課していた。解体材は住宅建築等の落ち込みにより減少傾向であり、今後の原料確保を懸念していた。

木材チップは住宅解体材であるため、原料の低含水率であるが、木材チップで保管しているときに近隣に埃として舞うことを懸念して散水をしていた。

今後燃料チップとして、湿量含水率20%の含水率規格は受け入れ可能ということであった。



写真 2.1 解体材等の木材チップ化作業

2.2.2 三基開発株式会社

三基開発株式会社は、解体材や伐採による残材を資源リサイクルする業者である。これらの原料は工場を中心として道内 50 km の範囲内から収集されていた。主に燃料用木材チップを生産し、王子製紙関連会社へ出荷していた。燃料チップの含水率規格として湿量基準 20% は受け入れられる数値ということであった。



写真 2.2 解体材等の集積作業



写真 2.3 チップ化された解体材

2.2.3 株式会社ニチモク林産

株式会社ニチモク林産は原木チップを生産していた。これらは製紙用木材チップであり、その他パーク、ダストの生産も行っていた。原木の樹種は道内のアカエゾマツ、トドマツ、シラカバ、ナラ、雑木等であった。製紙用チップは日本製紙株式会社向けであった。



写真 2.4 広葉樹チップの道内原木



写真 2.5 広葉樹材のチップ化工程

2.2.3 山興緑化有限会社

山興緑化有限会社は木材チップ生産工場等から排出されるバーク（樹皮）のバーク堆肥を生産していた。バークの再資源化、減量化、そして土壌改良材としてのリサイクルに取り組んでいた。さらに、枝葉、根株、木屑、家屋廃材等のリサイクル事業として建築の木屑等、土木工事や造成工事に伴う抜根、枝葉等を破碎処理して堆肥等を生産していた。また、曲がり材等の原木を用いて製紙用木材チップを生産していた。

含水率に関しては、製紙用であることから意識はしていないが、今後燃料用として規格が設けられる場合、湿量基準 30%以下ならば可能な数値であるとしていた。



写真 2.6 機械化された枝葉や根株等の破碎



写真 2.7 チップ用の原木選別

2.2.4 宮崎みどり製菓株式会社

宮崎みどり製菓株式会社は、畜産・水産・農業用の混合飼料、粗飼料、特殊肥料の生産を行っていた。混合飼料として、国産常緑広葉樹（イタジイ等）の樹皮を熱処理（炭化）してできた樹皮炭と木酢液による製品の生産や粗飼料としてスギ原木をチップ化し、圧力蒸煮釜で熱処理を行い加工した製品を生産していた。基本的に木材チップを原料とした化学加工工場なので原料の含水率基準は特に設けてはいなかった。



写真 2.8 イタジイ等の常緑広葉樹原木



写真 2.9 圧力煮沸装置による熱処理

2.2.5 木脇産業株式会社

木脇産業株式会社は国産材（スギ）製材、チップ加工、住宅資材、製造販売している。年間 130,000m³ の素材生産量である。木材チップは針葉樹スギの背板から生産され、11000～15000 m³ から約 1000t の木材チップが生産される。スギ林には広葉樹も混じっている場合があり、1200t/年ではあるが広葉樹チップも生産していた。同社では木材チップ等の木質燃料は木材乾燥用の木質燃料焚きボイラでも利用しており、10 t/日の割合で消費されていた。



写真 2.10 製材工程前のスギ丸太材



写真 2.11 背板等からの木材チップ

2.2.6 亀井産業株式会社

亀井産業株式会社は建築廃棄物からボード用と燃料用の木材チップを生産していた。主に、ボイラ燃料として、木くず 角材、板類、合板類等を破砕によりチップ化していた。また 製紙原料、ボード原料用も生産していた。燃料チップの含水率規格に関しては、湿量基準 30%以下ならば可能な数値であるとしていた。



写真 2.12 重機による解体材の一次破砕



写真 2.13 燃料用破砕チップの一例

2.2.7 A社

A社はパーティクルボードの製造会社である。製品の厚みは9～40mmであった。製品内部は粒子の粗い木片を、表面は鋸や鉋くずのスクリーンダスト等の細かい粒子を用いて製造されていた。製品含水率は外側8%、内側は4%で管理されていた。原料の乾燥方法は直径2m、長さ12mのロータリーキルンで行われていた。ロータリーキルンの乾燥温度は200℃程度で含水率30～60%の原料チップを10分以内で乾燥していた。含水率は製品の品質に影響するので最終的には110～120℃で含水率4%に落としていた。ロータリーキルンの加熱源は12 t/hの蒸発能力を持つ木質燃料ボイラであった。木質燃料の消費量は1～2 t/時間であった。ボード原料や燃料チップは屋外に山積みされていたが樹皮等を含む場合には自然発火を防ぐために最大3.5m以下に制限されていた。



写真 2.14 木材チップ乾燥工程装置外観



写真 2.15 山積み高さ 3.5mの
木材チップ原料

2.2.8 B社

B社はパーティクルボードやMDF、インシュレーションボード等の繊維板を製造していた。製品含水率は約7%で管理されていた。ボードの主な原料は、マレーシア等からMLH (Mix Light Hardwood) と称される輸入広葉樹混合材であった。原料の含水率は、製造プラントの工程にある異物除外プールで沈むような、高密度高含水率材は除くことがある。木材チップの品質規格としては、製紙用、繊維版、パーティクルボードそして燃料という区分ならば受け入れ可能であるということであった。

2.2.9 C社

C社は出力100万kWの石炭燃料による火力発電所である。ここでは木質バイオマス燃料を石炭と混燃する実証実験が行われていた。発電のため8,000ton/dayの石炭を燃焼し、混燃試験では重量割合で約2%の約150 t/dayの木質燃料を実際の燃焼装置に加える実証試験を行っていた。混燃用の木質燃料は島根県内から調達していた。木質燃料は樹皮も含まれており、50mmの大きさ制限を行っていた。含水率はトラックドライバーによりバケツ1杯

分を採取、その後担当係員により重量法で測定していた。受け入れ基準含水率は湿量基準含水率 55%以下としていた。



写真 2.16 木材チップサンプルの採取



写真 2.17 バイオマスサイロへの投入

2.2.10 P1社

P1社は、新聞用紙、出版用紙、中質紙を製造している製紙工場である。木材チップ品質検査用のサンプルはトラックの荷台からピットに落とすときに、バケツ一杯分をトラックドライバーによって採取し、検査担当係員へ提出していた。含水率用のサンプルは、担当係員により検査室でふるい分けをした後、大きき 17mm のチップを重量法で測定していた。



写真 2.18 木材チップ投入ピット
(トラックドライバーがサンプル採取)



写真 2.19 ふるいによる形状選別

2.2.11 P2社

P2社は、木材チップを原料とした、溶解パルプ、リグニン製品、CMC、セルロースパウダー等のケミカル原料を生産していた。化学工業用途にはセルロースの比率が高いパルプ（溶解パルプ）が求められていた。シート製品はレーヨンやセロファン原料に、ロール製品はセルロース誘導体（メチルセルロース、酢酸セルロース、硝酸セルロースなど）の原料であった。一方、木材のセルロース以外の成分についても、糖分は酵母・核酸に、リグニン分はリグニンスルホン塩酸として工業用特殊分野に幅広く利用されていた。原料チップとしては過度に含水率の低いものは生産上問題になることがあるということであった。

2.2.12 P3社

P3社は製紙工場である。主な製品は、上質紙、PPC用紙などを中心に、感熱紙等の情報用紙などの高品質製品を生産していた。原料の樹種は国産のシイやカシ、輸入材はチリ、オーストラリア、NZからのユーカリやベトナムからのアカシアであった。輸入材が約9割であった。

国産材の含水率はトラックドライバーによりバケツ1杯分を採取、それから担当係員により150g見当を重量法で測定していた。



写真 2.20 輸入原料広葉樹チップ



写真 2.21 サンプルチップの採取

2.3 含水率測定

含水率測定用の木材チップ供給工場 7 社から採取した。木材チップの用途は製紙用、ボード用および燃料用であった。木材チップの原料は原木、製材工場の製材側板や国内解体材であった。製紙用木材チップは納入先との取り決めにより針葉樹と広葉樹に分別されていた。

含水率の測定は次の通り行った。各工場で採取した木材チップ試料は密封し、直ちに森林総合研究所へ送付した。測定用試料の含水率測定は次のように重量測定法（JIS Z 2101 あるいは JIS Z 7203-3）の手順で行った。まず、各社の木材チップ約 1kg を電子天秤により重量測定（生材重量（ W ））を行った。次に、庫内温度 105°C に設定された送風恒温器内で恒量（含水率 0%）の状態を確認。そして、恒量に達した木材チップの重量測定（全乾重量（ W_0 ））を行った。

含水率の算出は、乾量基準含水率を以下の式(2.1)により、湿量基準含水率を式(2.2)で行った。

$$U_d = \frac{W - W_0}{W_0} \times 100 \quad \dots (2.1)$$

$$U_w = \frac{W - W_0}{W} \times 100 \quad \dots (2.2)$$

ここに、 U_d : 乾量基準の含水率 (%), U_w : 湿量基準の含水率 (%), W : 生材重量 (kg), W_0 : 全乾重量 (kg) である。

また、乾量基準含水率から湿量基準含水率および湿量基準含水率から乾量基準含水率の変換式はそれぞれ式(2.3)および式(2.4)である。

$$U_d = \frac{100 \times U_w}{100 - U_w} \quad \dots (2.3)$$

$$U_w = \frac{100 \times U_d}{100 + U_d} \quad \dots (2.4)$$

ここに、 U_d : 乾量基準の含水率 (%), U_w : 湿量基準の含水率 (%), W : 生材重量 (kg), W_0 : 全乾重量 (kg) である。

表 2.1 は各調査工場の含水率測定結果である。静岡チップ工業株式会社、三基開発株式会社、亀井産業株式会社の解体材等はチップ化の山積み状態の時に雨水に曝され、煤塵の飛散を防ぐために散水を行っている等の事例が確認されたこともあり乾量基準含水率 12~55% (湿量基準含水率 10~35%) を示した。住宅解体材を原料とした廃材チップは住宅用

材として長時間にわたり自然に乾燥されているため、製材品は平衡含水率に近い乾量基準含水率 12～17%、ボード類は 8～12%という値が維持されていると思われるが、今回調査のチップ化工程では、含水率は上記の理由で上昇している傾向がみられた。

株式会社ニチモク林産、三興緑化有限会社、木脇産業株式会社の製材チップや曲がり材等の原木チップ等は針葉樹で乾量基準含水率 32～77%（湿量基準含水率 24～43%）、広葉樹は乾量基準含水率 55～65%（湿量基準含水率 35～40%）であった。木脇産業株式会社の針葉樹背板は辺材部分が多いスギ材であり、チップ化工程の排出状態で試料を採取したため乾量基準含水率 100%以上の含水率が予想されたが乾量基準含水率 52%（湿量基準含水率 34%）であった。これは、素材丸太の伐採時期、保管状態の影響およびチップ加工の際の物理的な脱水が理由として考えられる。

製紙やボード用の木材チップは、製紙工場に納入する際に含水率を除いた状態で取引されるので、チップ工場出し原料段階の含水率値は意識されていなかった。一方、今後燃料として利用される場合は、木材チップの含水率によって発熱量が異なることから、この発熱量を品質基準とする場合には、今後、含水率値の管理が重要視されると考えられる。

表 2.1 木材チップの含水率測定値(重量測定法)

採取工場	用途	原料、樹種等	含水率	
			乾量基準 (%)	湿量基準 (%)
静岡チップ工業株式会社	燃料用	建築解体材	31	24
	製紙用	建築解体材	36	27
	製紙用	建築解体材	55	35
三基開発株式会社	ボード用	外側用鋸屑	36	26
	製紙用	針葉樹（アカマツ）	23	19
	ボード用	建築解体材	34	25
株式会社ニチモク林産	製紙用	針葉樹（カラマツ）	32	24
	製紙用	広葉樹（国産）	55	35
三興緑化有限会社	燃料用	根株	31	24
	製紙用	広葉樹（国産）	65	40
	製紙用	針葉樹（スギ、ヒノキ）	77	43
木脇産業株式会社	製紙用	針葉樹丸太（スギ、ヒノキ）	40	29
	製紙用	背板（スギ）	52	34
宮崎みどり製薬株式会社	その他	スギ皮入り	40	29
	その他	広葉樹（国産）	46	32
亀井産業株式会社	燃料用	建築解体材	29	22
	製紙用	建築解体材	12	10
	ボード用	建築解体材	17	14

2.4 燃料チップとしての発熱量

近年、バイオマス燃料として重要視されている木材チップは、それ自体に含まれる水分によって発熱量の高低が現れる。発熱量とは、燃料の単位量 1kg または 1Nm³ (0℃、1 気圧) が完全に燃焼する時の熱量のことである。ここでは、木材チップを燃料として扱うことを念頭にした品質について考察した。

2.4.1 木材チップと他の燃料の発熱量

表 2.2 は湿量基準含水率および乾量基準含水率に対する発熱量（高発熱量）の関係を示している。このように木材の発熱量は一般的に 4500kcal/kg を用いる。ただし、この数値は木材に水分が全く含まれていない状態における値である。木材チップの場合は、人工的に乾燥処理をしたとしても 5～10% であるから、一般的には 4000kcal/kg を現実的な値として扱うことが望ましいと思われる。参考までに、他の燃料の発熱量は、灯油 11,000～11500 kcal/kg、A 重油 10000～11000 kcal/kg、石炭 6000～7000 kcal/kg である。

表 2.2 木材含水率に対する発熱量（高発熱量）の関係

湿量基準含水率 (%)	乾量基準含水率 (%)	発熱量	
		(kcal/kg)	(MJ/kg)
0	0	4562	19.1
10	11	4020	16.8
15	18	3749	15.7
20	25	3476	14.6
25	33	3208	13.4
30	43	2937	12.3
35	54	2666	11.2
40	67	2395	10.0
45	82	2124	8.9
50	100	1853	7.8

単位変換 1kcal=4.1865kJ

参考: 木材工業便覧、P.245(1951)

2.4.2 水分を含んだ燃料チップとしての品質

木材は元々樹木であった時の樹液を多く含む。木材チップは製材側板や曲がり材や剪定木等から生産される場合に樹液である水分を蒸発乾燥させる必要がある。

木材の特性は、材内水分の蒸発乾燥過程で達する繊維飽和点(乾量基準含水率で約 30%)から物理的な性能が変化する。この理由の一つに木材中の自由水がなくなることがあげられる。すなわち、液体としての水は蒸発乾燥して木材実質と化学的な結合をした水分のみの状態になる。したがって、この繊維飽和点よりも含水率が低いところに発熱量の基準が必要と思われた。

生材状態から乾燥木材チップとして生産する場合は、ある程度発熱量が得られ、生産コ

ストも抑えられる場合を考慮し、次の判断基準を必要とすると思われた。

まず、湿量基準含水率 20% (乾量基準含水率 25%) 未満とし、発熱量 3500kcal/kg を担保できるようにする。次に湿量基準含水率 30% (乾量基準含水率 43%) 未満とし、発熱量 3000kcal/kg を担保できるようにする。そして、高含水率であり発熱量は小さいが、製品燃料チップを重量で取引する場合、単位重量当たりで木材実質よりも水分のほうが重いようなものは、品質としてよろしくないと判断し、湿量基準含水率 50% (乾量基準含水率 100%) 未満を発熱量 2000kcal/kg に基準を設ける必要があると考えられた。

このように燃料チップは含水率に対する発熱量を品質基準として扱うことが望ましいと考えられる。

2.4.3 湿量基準含水率および乾量基準含水率と発熱量の関係

湿量基準含水率は対象物の全重量に対する水分量の割合である。したがって、湿量基準含水率に対する発熱量 (Q_{hw} (高発熱量)) は図 2.1 のように直線関数の近似式 (2.5) で表すことができる。一方、乾量基準含水率は木材実質の重量と水分重量の比である。したがって、乾量基準含水率に対する発熱量 (Q_{hd} (高発熱量)) の関係は図 2.2 のように指数関数の近似式 (2.6) で表すことができる。

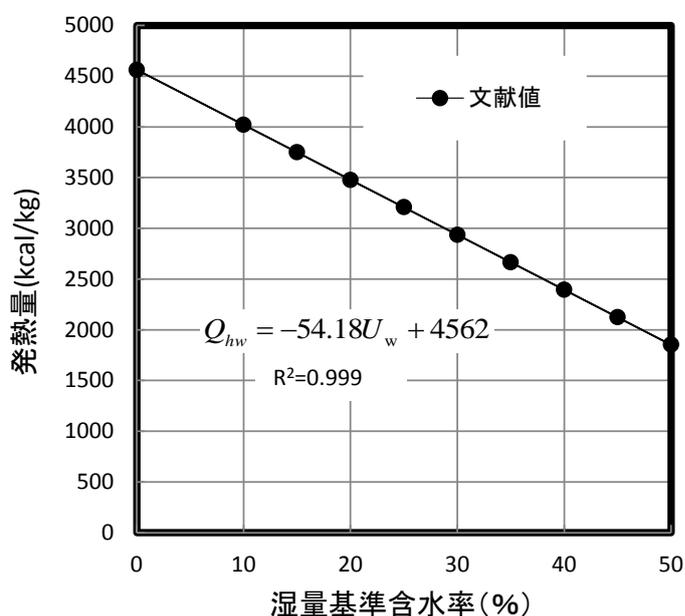


図 2.1 湿量基準含水率と含水率の関係

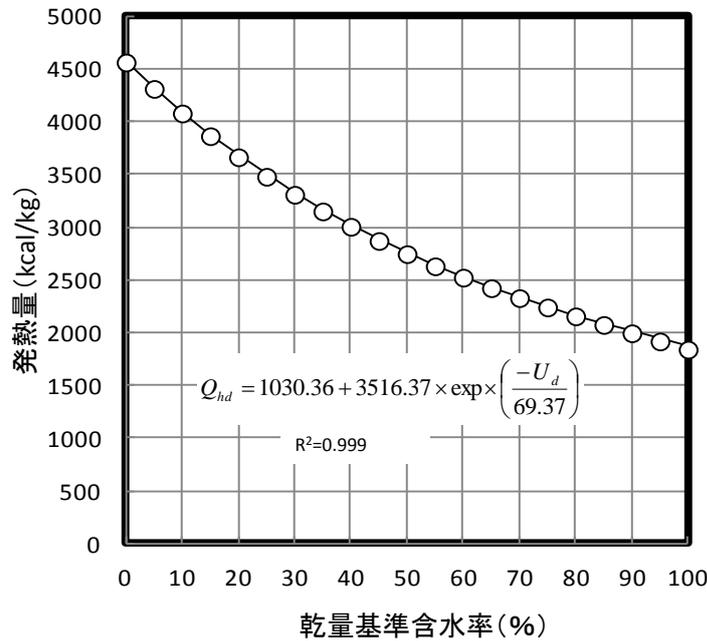


図 2.2 乾量基準含水率と含水率の関係

$$Q_{hw} = -54.18U_w + 4562 \quad \dots (2.5)$$

$$Q_{hd} = 1030.36 + 3516.37 \times \exp\left(\frac{-U_d}{69.37}\right) \quad \dots (2.6)$$

ここに、 Q_{hw} : 含水率 U_w の時の発熱量 (kcal/kg)、 Q_{hd} : 含水率 U_d の時の発熱量 (kcal/kg)、 U_w : 湿量基準の含水率 (%)、 U_d : 乾量基準の含水率 (%)

木材の含水率は従来から乾量基準含水率基準 (測定法: JIS Z2101) で扱われてきている。乾量基準含水率は、木材やお茶等の農林産物の水分含有量に用いられるのみの表示方法である。木材チップの品質を発熱量に関係する含水率で区分する場合には、含水率と熱量の関係が指数近似式になる乾量基準含水率ベースよりも直線近似が容易な湿量基準含水率のほうが扱いやすいと思われる。また、一般的に他の産業が扱っている湿量基準含水率との混乱を避けることを考慮して、木材チップ燃料の品質規格表示の場合は湿量基準含水率を採用することが望ましい。ただし、当面は湿量基準含水率であることを明記し、乾量基準含水率との変換式を記載する必要があると思われる。

また、燃料木材チップは、規格上の測定法を主な産業の固形燃料で扱う湿量含水率基準 (測定法: JIS Z7302-3) に根拠をおくことも検討するべきと思われる。

2.5 文献による発熱量

表 2.3 は無水状態（含水率 0%）における各樹種の発熱量である。一般的に針葉樹の発熱量の方が広葉樹より高い。竹材の無水状態の発熱量は年齢 1～6 で約 4700 kcal/kg である。

表 2.4 は木材の発熱性を調べるために実験的に ISO コーンカロリ計で求めた各樹種の有効燃焼熱の例である。この試験結果でも針葉樹の方が発熱量は高い結果である。また、発炎燃焼の燃焼熱は、表 2.2 の湿量基準含水率 10%では 4000cal/kg の発熱量に対して低い値を示している。気乾ベースの有効発熱量は 2962～3440kcal/kg であった。

木材の成分は炭素、水素、酸素で構成されており、これらは燃焼によって各酸化物と発熱を生じる。これらの成分のほかに灰分がある。木材の灰分は一般的には 2%程度と言われている。したがって、総発熱量は、樹種ごとでも密度とともに増加した。初期含水率は発炎燃焼時間およびその間の発熱速度に影響した。

樹皮の発熱量は木材部分よりもやや高いか類似の値である。木材部分と同様に針葉樹の発熱量の方が高い。これは針葉樹の樹皮は広葉樹の樹皮よりも樹脂、精油を多く含み、外皮が発達していることやコルク質が多く、密度の割には炭素含有率が多いためとされている。

このように、木材の燃焼量は、実際のところは各樹種の密度、灰分、樹脂含有率等にも関係すると考えられるので留意する必要があると思われる。

表 2.3 針葉樹と広葉樹の発熱量（高発熱量）

樹種	無水状態の高発熱量(kcal/kg)	
	木材	樹皮
カラマツ	4920	
トドマツ	4970	
エゾマツ	4840	
針葉樹12種平均	4960	
ブナ	4700	
ナラ	4689	
ケヤキ	4392	
広葉樹12種平均	4730	
ダグラスファー	5110	5610
ヘムロック	4720	5440
レッドシーダー	4390	4830
アルダー	4400	4670

参考：木材乾燥講習会テキスト

表 2.4 コーンカロリ－計で求めた各樹種の有効燃焼熱

樹種	試験体数 (個)	密度 (g/cm ³)	発炎燃焼の燃焼熱(気乾ベース)	
			(kcal/kg)	(MJ/kg)
アカマツ <i>P.densiflora</i>	9	0.46~0.62	3201	13.4
カラマツ <i>L.leptolepis</i>	9	0.41~0.59	3177	13.3
ヒノキ <i>C.obtusa</i>	12	0.41~0.58	3440	14.4
スギ <i>C.japonica</i>	11	0.27~0.39	3273	13.7
トドマツ <i>A.sachalinensis</i>	8	0.34~0.48	3344	14.0
ヤチダモ <i>F.mandshurica</i>	14	0.43~0.71	2962	12.4

試験体の寸法: 100(T)×100(L)×15(R)mm(板目材)

養生条件: 23℃、50%RHで3ヵ月(乾量基準含水率9%、湿量基準含水率8.3%)

単位変換: 1J = 4.1865cal

参考: 菊池伸一、木材の発熱性に対する密度、水分の影響

Hokkaido For.Prod.Res.Inst.Vol22.No2,2008

2.6 高発熱量と低発熱量

木材に含まれる水分や燃焼による化学反応によって発熱量は高低が生じる。それは、主に炭素と水素と酸素の分子組成からなる木材自体の燃焼と水の蒸発潜熱と凝縮潜熱の関係に起因するとも考えられる。

実際に燃料として使用される木材チップは含水率0%の状態ではなく、各含水率で使用時の高発熱量は低くなることは表 2.2 のとおりである。

低発熱量とは高発熱量から水蒸気の凝縮熱を除いた値である。実際の燃焼では、燃焼ガスを高温のまま排出し、水蒸気の凝縮熱(気体が液体になる時に放出する熱)は利用できないので、低発熱量が実用的な意味を持つことになる。すなわち、高発熱量は、燃焼ガス中の生成水蒸気が凝縮したときに得られる凝縮潜熱を含めた発熱量をいい、単位量の燃料の燃焼熱に等しい。それに対して低発熱量は、生成水蒸気は凝縮されないまま系外に放出されたときの発熱量をいい、実際に利用できる熱量に等しい。

低発熱量を高発熱量との関係式で表すと、含水率に関係した式(2.7)および式(2.8)で表される。

$$H_L = H_{h_0} - \frac{600(9h_0 + \frac{U_d}{100})}{1 + \frac{U_d}{100}} \quad \dots (2.7)$$

$$H_L = H_{h_0} - \frac{600(9h_0 + \frac{U_w}{100 + U_w})}{1 + \frac{U_w}{100 + U_w}} \quad \dots (2.8)$$

ここに、

H_L : 低発熱量 (kcal/kg)、 H_{h_0} : 高発熱量(含水率 0%) (kcal/kg)、 h_0 : 水素量 (含水率 0%時) (kg/kg)、 U_d : 乾量基準の含水率 (%) U_w : 湿量基準の含水率 (%)

表 2.2 の数値を用いて計算した値を湿量基準含水率に対する発熱量を表したのが表 2.5 および図 2.3 である。図 2.3 では明らかに表せないが含水率が低いほど高発熱量に対する低発熱量の割合は小さくなる。

表 2.5 各含水率値に対する高発熱量と低発熱量の関係

湿量基準含水率 (%)	乾量基準含水率 (%)	高発熱量		低発熱量	
		(kcal/kg)	(MJ/kg)	(kcal/kg)	(MJ/kg)
0	0	4562	19.1	4238	17.7
5	5	4291	18.0	3954	16.6
10	11	4020	16.8	3673	15.4
15	18	3749	15.7	3393	14.2
20	25	3476	14.6	3113	13.0
25	33	3208	13.4	2838	11.9
30	43	2937	12.3	2561	10.7
35	54	2666	11.2	2285	9.6
40	67	2395	10.0	2010	8.4
45	82	2124	8.9	1735	7.3
50	100	1853	7.8	1460	6.1

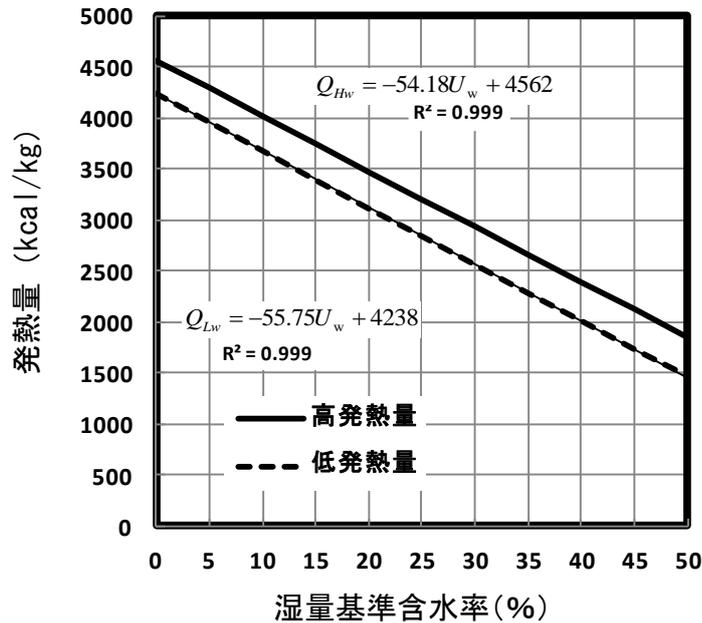


図 2.3 湿量基準含水率値に対する高発熱量と低発熱量

湿量基準含水率と高発熱量および低発熱量の関係を式 (2.9) と式 (2.10) に示す。

$$Q_{Hw} = -54.18U_w + 4562 \quad \dots (2.9)$$

$$Q_{Lw} = -55.75U_w + 4238 \quad \dots (2.10)$$

ここに、

Q_{Hw} : 含水率 U_w の時の高発熱量 (kcal/kg)、 Q_{Lw} : 含水率 U_w の時の低発熱量 (kcal/kg)、
 U_w : 湿量基準含水率 (%)

2.7. 実効発熱量

木材チップ燃料をエネルギーとして変換する場合、現在技術的に確立されているのは蒸気発生ボイラである。燃焼によって水を加熱して水蒸気として気化させると、その水蒸気は熱エネルギーや圧力エネルギーに変換可能である。前者は 30℃~100℃という人間生活に深く関わる温度域をカバーできる。後者の主な応用技術は発電用タービンの回転等に用いられる。

木質燃料焚きボイラの性能は蒸気発生量 200kg/h から 10t/h 以上と、その用途等によって使い分けられている。ここで留意しなければならないことはボイラ効率である。ボイラ効率とはボイラに供給された総熱量にたいしてボイラ水と蒸気に吸収された熱量の割合である。ボイラ効率はボイラの種類や燃料によって異なり、木質燃料焚き水管ボイラの場合

合は 70～80%程度である。

表 2.6 は、各湿量基準含水率に対する推定実効発熱量である。試算条件は各湿量含水率の低発熱量、灰分 2%を考慮そしてボイラ効率 70%の木質燃料焚きボイラとした。

この試算は厳しめに生産されているが、湿量基準含水率 20%未満では 2200kcal/kg、湿量基準含水率 30%未満では 1800kcal/kg そして湿量基準含水率 50%未満では 1000kcal/kg と算出された。

表 2.6 低発熱量を基にした推定実効発熱量

湿量基準含水率 (%)	乾量基準含水率 (%)	高発熱量 (kcal/kg)	低発熱量 (kcal/kg)	灰分2%を考慮した発熱量 (kcal/kg)	木質燃料焚きボイラの推定実効発熱量 (効率70%) (kcal/kg)
0	0	4562	4238	4153	2907
5	5	4291	3954	3875	2713
10	11	4020	3673	3600	2520
15	18	3749	3393	3325	2328
20	25	3476	3113	3050	2135
25	33	3208	2838	2781	1947
30	43	2937	2561	2510	1757
35	54	2666	2285	2239	1568
40	67	2395	2010	1969	1379
45	82	2124	1735	1700	1190
50	100	1853	1460	1431	1002

2.8 燃料用木材チップの乾燥処理

木材チップを燃料として利用する場合、その含水率によって発熱量が異なり、低含水率の方が発熱量は高い。解体材の木材チップは、長年の住宅使用によって湿量基準含水率は 10%前後なので、チップとして加工した後は燃料用として十分な燃焼性能を持っていると考えられる。

一方、原木や製材側板や端材から生産された木材チップの含水率は高い。今回の調査では湿量基準含水率で最大 43%であった。したがって、燃料用木材チップとして製品化するためには乾燥工程が必要である。ここでは実効発熱量 2000kcal/kg 前後となる湿量基準含水率 20～ 30%の燃料用チップを生産することを想定して必要熱量とそれにかかる燃料コスト等を試算した。

表 2.7 は 1kg の木材チップを乾燥前湿量基準含水率 30～55%から 20～30%に乾燥するときの必要熱量を基に算出した燃料コストである。

湿量基準含水率 40%を 20%にする場合、木材チップ 1 tを生産するときの燃料コストは灯油で 1,181 円、重油で 864 円、木材チップは 184 円であった。湿量基準含水率 40%を 30%にする場合も同様の値であった。また、これらの場合、単位生産重量あたりで必要な燃料木材チップは 3%と試算された。

表 2.7 木材チップを乾燥させるための熱量とコスト

乾燥前含水率	乾燥後含水率 (製品含水率)	乾燥必要熱量	各加熱燃料の必要コスト			木材チップ生産 に必要な燃料 チップ量の割合
			灯油	A重油	木材チップ	
湿量基準 (%)	湿量基準 (%)	(kcal/kg)	(円/t)	(円/t)	(円/t)	(%)
55	20	215	2,067	1,553	322	11
50	20	184	1,772	1,331	276	9
40	20	123	1,181	887	184	6
30	20	61	591	444	92	3
55	30	153	1,477	1,109	230	8
50	30	123	1,181	887	184	6
40	30	61	591	444	92	3

コスト計算条件: 灯油:11000kcal/kg、106円/L(2012.01)
A重油:10500kcal/kg、76円/L(2012.01)
木材チップ:2000kcal/kg(湿量基準=20~30%の実効発熱量)、3円/kg

2.9 乾燥設備も含めた木材チップ生産コストの試算

日産 50ton の木材チップを生産すると想定したコスト試算を行った。この生産量は年間稼働率約 80%で年間 15,000ton の生産である。

試算は次の条件で行った。日産 50ton の燃料用木材チップを実効発熱量 2,000kcal/kg の木材チップを生産する場合は湿量含水率 25%未満に乾燥処理をする必要がある。この時必要な原料チップは、含水率を湿量含水率 40%とした場合 68 ton /日以上を必要とする。蒸発水分量は 18 ton /日以上である。

乾燥処理に用いる装置は、ロータリ乾燥機 1 機による 24 時間稼働の連続生産、木質燃料焚きボイラ (蒸発量 2 ton /日、ボイラ効率 70%) と周辺機器も含めたコストである。また、比較のために同ロータリ乾燥機と油焚きボイラを (A重油、蒸発量 2 ton /h、ボイラ効率 90%) を組み合わせた場合の試算を行った。各燃料費は、木材チップ 3 円/kg、A重油 76 円/kg (2011.01 現在) とした。

乾燥温度は 160°C、外気温 20°Cとした。68ton の木材チップを乾燥処理する場合は約 500kg/10 分間であり、この乾燥温度による処理としては可能な数値と思われた。ただし、ロータリ乾燥機内の風量等で乾燥時間は変化するので、今後実験的に明らかにする必要があると考えられる。

乾燥処理に必要な熱量の計算は次の条件で行った。乾燥機は連続的に稼働しているとして、乾燥初期の温度上昇等に必要な熱量 (H_1) (式(2.11)) は、木材の加熱に必要な熱量 (H_{1a}) (式(2.12)) と木材中の水分の加熱に必要な熱量 (H_{1b}) (式(2.13)) を足し合わ

せた熱量とした。

$$H_1 = H_{1a} + H_{1b} \cdots (2.11)$$

水分を含んだ木材チップの加熱に必要な熱量 H_{1a} は式(2.12)から求めた。

$$H_{1a} = V_0 r_0 C_0 (\theta_2 - \theta_1) \cdots (2.12)$$

ここに、

V_0 : 乾燥する材積 (m^3)、 r_0 : 木材の全乾密度数 (kg/m^3)、 C_0 : 木材の比熱 ($kcal/kg^\circ C$)、
 θ_1 、 θ_2 : 外気温度及び初期設定温度 ($^\circ C$)

一方、原料木材チップに含まれる水分の加熱に必要な熱量 (H_{1b}) は式(2.13) から求めた。

$$H_{1b} = m(\theta_2 - \theta_1) = V_0 r_0 C_0 \frac{u_a}{100} (\theta_2 - \theta_1) \cdots (2.13)$$

ここに、

m : 水分量 (kg)、 u_a : 初期含水率 (%)、 θ_1 、 θ_2 : 木材の乾燥前温度及び乾燥初期設定温度 ($^\circ C$)

また、原料木材チップの水分蒸発にかかる熱量 (H_{2a}) は式(2.14)から求めた。

$$H_{2a} = r_0 V_0 \left\{ \frac{(u_a - 30)}{100} \times Q + \frac{(30 - u_e)}{10} \times (Q + 20) \right\} \cdots (2.14)$$

ここに、

Q : 蒸発潜熱 ($kcal/kg$)、 $Q + 20$: 含水率 30% 以下の平均蒸発潜熱 ($kcal/kg$)、
 u_a : 初期含水率、 u_e : 仕上がり含水率 (%)、蒸発潜熱は乾燥経過中の平均温度について考え、約 $560kcal/kg$ とした。

総必要熱量 H_{total} は、原料木材チップの乾燥初期温度上昇等に必要な熱量 (H_1) と水分蒸発にかかる熱量 (H_{2a}) を足し合わせた数値とした。さらに、乾燥処理中には壁体からの放熱、空気および水蒸気の加熱等にも加熱が必要であるため文献値を利用して総必要熱量 H_{total} を 1.57 倍した数値を実質の必要発熱量としてコスト計算に利用した。

表 2.8 に木材チップを燃料とした場合の生産コストを示す。ロータリ乾燥機 1 機に対し木質燃料焚きボイラ(蒸発量 2 t/h)を設定した。また表 2.9 は同ロータリ乾燥機 1 機に対し油焚きボイラ(蒸発量 2 t/h)を設定した。両試算で特徴的なのは各ボイラの価格の差、人件費および燃料代の差である。

木質燃料焚きボイラ加熱による生産コストは、表 2.8 のように年間生産量 15,000ton に対して 5,536 万円であった。木材チップ 1 トン当たりに換算すると 3,690 円/ton であった。油焚きボイラ加熱による生産コストは、表 2.9 のように年間生産量 15,000ton に対して 6,118 万円であった。木材チップ 1 トン当たりに換算すると 4,079 円/ton と試算された。この値は現状の燃料用木材チップの価格からみて厳しい値である。このコスト対策としては、燃料チップ価格が現状のまま推移するのであれば、生産量に対する設備規模を精査して設備に係るコストを抑えるか、あるいはさらなる増産を試みる必要があると考えられる。

表 2.8 木質燃料焚きボイラを用いた時の木材チップ生産コスト

導入機械	
ロータリー乾燥機	10000 万円
木質燃料焚きボイラ(2t/h)	8000 万円
<hr/>	
乾燥機:設備償却費(金利3%、7年償却、残存	1,493 万円/年
ボイラ等:設備償却費(金利3%、7年償却、残存	1,194 万円/年
人件費(必要作業員 3人)	1,500 万円/年
光熱費(電気、600kWh×300日、12円/kWh)	432 万円/年
含水率40%を30%にする燃料費(木質燃料)	648 万円/年
設備管理費(償却の10%)	269 万円/年
合計	5,536 万円/年

表 2.9 油焚きボイラを用いた時の木材チップ生産コスト

導入機械	
ロータリー乾燥機	10000 万円
油焚きボイラ(2t/h)	1500 万円
<hr/>	
年間生産コスト試算	
乾燥機:設備償却費(金利3%、7年償却、残存15%)	1,493 万円/年
ボイラ等:設備償却費(金利3%、7年償却、残存15%)	224 万円/年
人件費(必要作業員 1人)	500 万円/年
光熱費(電気、600kWh×300日、12円/kWh)	263 万円/年
含水率40%を30%にする燃料費(A重油)	3,466 万円/年
設備管理費(償却の10%)	172 万円/年
合計	6,118 万円/年

1日50tの燃料チップ生産(A重油(76円/L)、木材チップ3(円/kg))

年間 1万5000トンのチップ生産(稼働率82%)

2.10 乾燥時間と乾燥曲線

乾燥時間は、原料チップのストック量、計画生産量、初期含水率、製品含水率等の品質

に関係する。たとえば、乾燥温度によって生産量は増減する。乾燥温度の高い方が乾燥時間は早く生産量は増える、ただし過度の昇温は加熱燃料が多く必要になり高コストとなる場合もある。このように、乾燥時間の設定は、燃料用乾燥木材チップの生産シミュレーションを行う上で重要である

図 2.4 は今回の調査で含水率を測定した時の結果である。約 1kg の木材チップ試料を 100℃の送風恒温器に投入し、湿量基準含水率 20%程度になるまでの乾燥時間である。初期湿量基準含水率 40%の場合、針葉樹が 1.8 時間、広葉樹は 2.4 時間であった。乾燥時間は 2 時間程度が必要であった。針葉樹と広葉樹を比較すると、100℃の乾燥の場合、同一含水率では針葉樹の方が短い乾燥時間であった。この理由の一つは密度の影響と思われた。

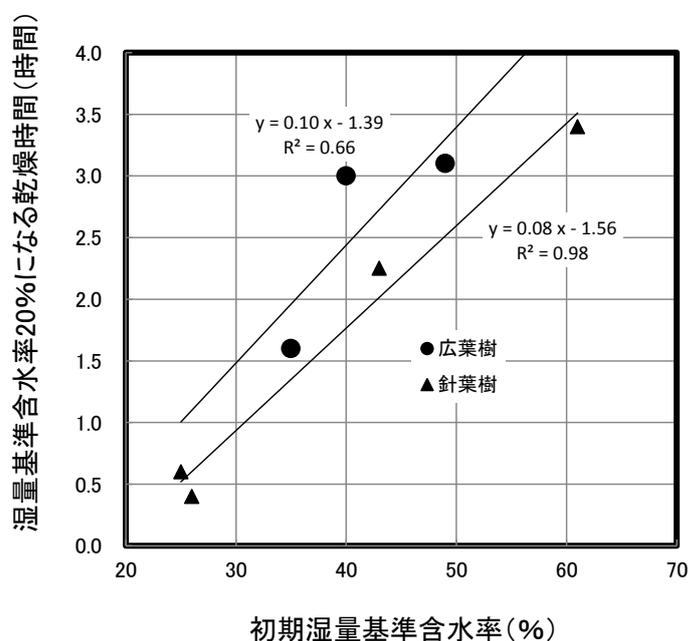


図 2.4 100℃の乾燥処理に対する針葉樹と広葉樹の乾燥時間の差

図 2.5 は 80℃、図 2.6 は 100℃、図 2.7 は 120℃で約 1kg の同じ木材チップ試料を乾燥した時の乾燥曲線である。今後は 140℃、160℃、180℃で同様な試験を行い乾燥時間推定ができるようにする必要があったと思われた。このような乾燥初期含水率に対する各乾燥温度に対する乾燥処理時間の資料図を作成しておけば原料樹種や初期含水率の変化に対して迅速に対処可能である。

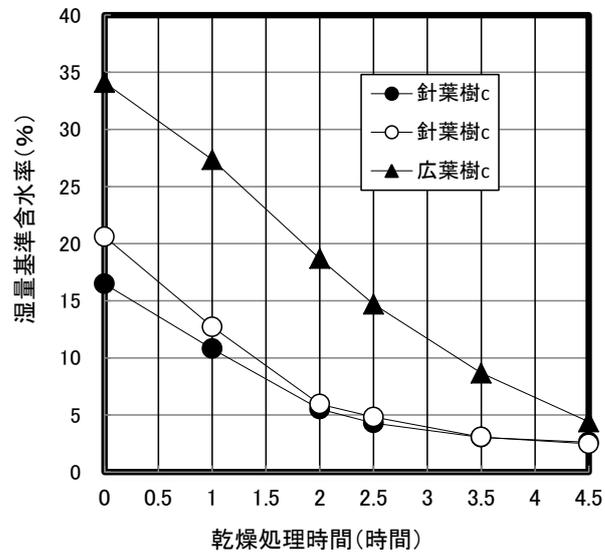


図 2.5 80°Cの乾燥処理における乾燥曲線

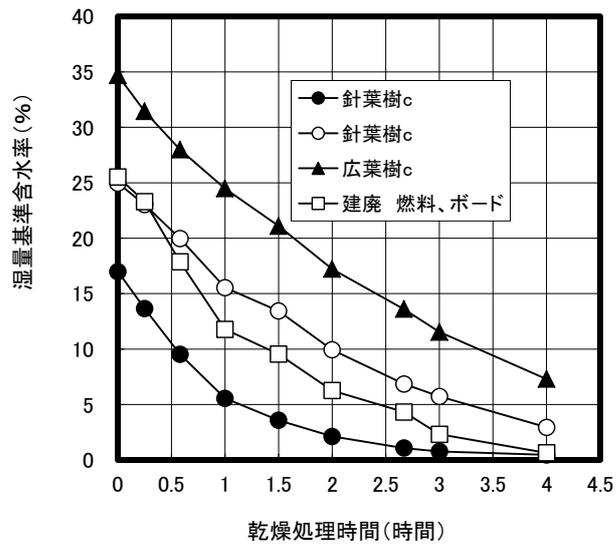


図 2.6 100°Cの乾燥処理における乾燥曲線

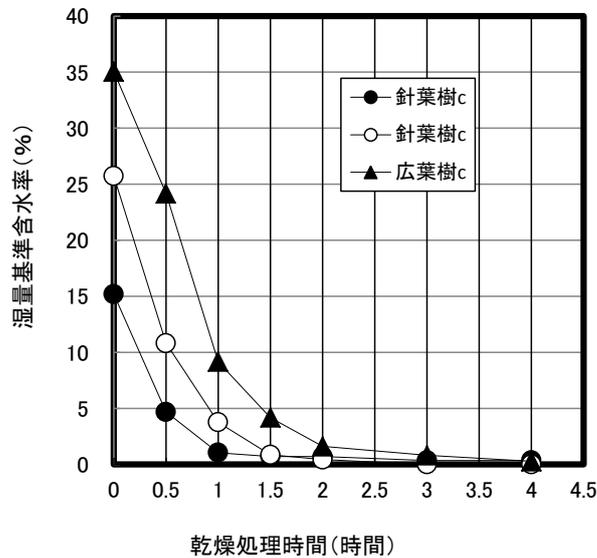


図 2.7 120°Cの乾燥処理における乾燥曲線

2.11 含水率管理

含水率管理は、含水率測定法とした JIS Z 2101 や JIS Z 7302-3 に則って重量測定法によることが基本と思われるが、この方法の問題は、木材の成分が熱分解しない程度の乾燥温度 (105°C) で処理するため、結果を出すためには一昼夜以上の時間を要することである。木材チップを大量に生産する場面では、工程ライン上で流れる木材チップの含水率を時々刻々と測定する必要がある。現在国内では木材チップ含水率を専用に測定する機器は市販されていない。今後バイオマス燃料としての用途が増加することを勘案すれば、早急の専用機器の開発作成が必要と考えられる。

表 2.10 は、現状の木材含水率を測定するための方式と各特徴である。生産工程ライン上で設置可能な方式としては近赤外線方式、マイクロ波透過方式、中性子方式、X線透過方式があげられる。これらの各特徴から木材チップの含水率管理機器として有望と思われるのは、生産工程ラインではマイクロ波透過式が精度や経済的な面からみて有望と考えられた。一方、製品の含水率確認のためには、マイクロ波透過式に加えて電気抵抗式、電気容量式等が有望と考えられた。

表 2.10 各含水率測定管理機器とその特徴

	重量測定法 (JISZ2101、JISZ7302-3)	電気抵抗式	電気容量式	近赤外線方式	マイクロ波透過式	中性子	X線
測定精度 湿量含水率23%以上 湿量含水率23%以上	高い 高い	低い 高い	低い 高い	低い 高い	低い 高い	高い 高い	高い 高い
測定時間	6時間から2日	瞬時	瞬時	瞬時	瞬時	瞬時	瞬時
測定部分	試料全体	センサ先端部	深度20~30mm	深度2~3mm	透過部分	透過部分	透過部分
測定エリア	試料全体	センシング先端部	センシング両極部	放射範囲	放射範囲	放射範囲	透過部分
温度の影響	無	有	有	有	有	無	有
密度(樹種)の影響	無	無	有	有	有	有	有
チップ形状の影響	無	無	有	有	有	有	有
表面色の影響	無	無	無	有	無	無	無
工程ライン連続測定	難しい	難しい	難しい	容易	容易	容易	容易
推定製品価格	5~15万円	5~15万円	10~100万円	100~500万円	200~1000万円	500~1000万円	1000~5000万円
ランニングコスト	低い	低い	低い	低い	低い	高い	高い

まとめ

燃料用木材チップの品質基準を定めていくうえで含水率調査、発熱量および生産コスト等を算出および解析した。その結果、

1. 燃料用木材チップの品質は含水率の対する発熱量で区分することが望ましい。
2. 含水率の表示は、他の産業分野への配慮や含水率に対する発熱量が直線であらわせるので湿量基準含水率が望ましい。
3. 含水率基準は、実態調査に合わせて湿量基準含水率 20% (発熱量 3500kcal/kg 以上)、湿量基準含水率 30% (発熱量 3000kcal/kg 以上)、湿量基準含水率 50% (発熱量 2000kcal/kg 以上) を区分の目安とすることが望ましい。
4. 含水率数値取り扱いの混乱を避けるため、当面は湿量基準含水率から乾量基準含水率に変換できるような数式を明記することが望ましい。
5. 湿量基準含水率によって木材チップの含水率を管理できる測定機器の開発を早急に行うことが望まれる。