

木質バイオマス利用のための燃料特性評価

誌名	新潟県森林研究所研究報告 = Bulletin of Niigata Prefectural Forest Research Institute
ISSN	13438999
著者	武田, 宏
巻/号	50号
掲載ページ	p. 63-70
発行年月	2009年3月

木質バイオマス利用のための燃料特性評価

武 田 宏

要旨：木質バイオマスのエネルギー利用を進めるための基礎資料として、新潟県内から採取した37種類の樹木の木部、樹皮、枝、葉の発熱量と灰分を測定した。木部では発熱量は4,573~4,858kcal/kg、灰分は0.26~1.32%と樹種による差が小さかったのに対し、樹皮では発熱量は4,313~5,738kcal/kg、灰分は2.24~10.71%、枝では発熱量は4,465~5,252kcal/kg、灰分は1.31~8.27%、葉では発熱量は4,588~5,658kcal/kg、灰分は2.50~13.81%と樹種によってばらつきが大きかった。また、木部の発熱量は樹種による差が小さく、木部の容積当たりの発熱量は容積密度が高い樹種ほど高い結果となった。

I はじめに

最近の原油価格の大きな変動は主に投機の影響などによるものであるが、根本的には化石燃料が有限であることに起因するものと思われる。原油の枯渇年数は約70年と言われており、限りある化石燃料の利用を徐々に削減し、再生可能エネルギーとうまく組み合わせて利用することが持続可能な社会の形成に向けて必要になっている。

いくつかある再生可能エネルギーのうちバイオマスは化石燃料と同じ化学エネルギーで、化石燃料と同じように貯蔵しやすいという特徴があり、近年特に注目されている。

そのバイオマスエネルギーの中でも木質ペレットはグレードアップした木質燃料と言われており、2002年に林野庁などが木質ペレット製造工場への補助事業を開始して以来全国で急激に製造工場が増えている（小島，2008）。

新潟県では平成20年度末でペレット製造施設が7工場存在している。このうち2工場が製材過程で発生する端材やオガクズを原料にしているが、他の5工場は道路開設工事で発生する支障木や河川の流木など、樹種や樹木の状態など原料が定まっていない場合が多い（番場，2009）。

平成19年9月には「木質ペレット品質規格原案」が示され、日本木質ペレット協会の自主規格として運用され

ることから、今後は一定の基準を満たした品質の定まったペレットが求められる。したがって、原料となる樹木について樹種や部位ごとの燃料特性を把握しておく必要がある。

また、バイオマス燃料は製造だけでなく、運送でもできるだけ化石燃料を使用しないことが望ましいことから、燃料を製造した地域の近くで消費する「エネルギーの地産地消」が求められている。

平成19年3月31日現在の森林資源の現況（林野庁計画課，2008）では、新潟県の民有林における11齢級以上のスギ人工林の蓄積は全都道府県のトップクラスであり、今後ますますの伐採利用が求められている。一方、民有林人工林率は全国で46番目であることから、広葉樹林資源が豊富な地域とも言える。このような地域の森林資源の実態にあった木質バイオマスの燃料特性の把握が必要になっている。

木部と樹皮の発熱量については、全国から採取した約40種の報告（阿部，1987）があるが、中川・松村（2004）はこのような観点から神奈川県内に産するの15樹種について発熱量と灰分を木部と樹皮だけでなく、枝や葉についても調べている。新潟県においてもこのように県内に産する主な樹木の燃料特性を把握しておくことは重要である。そこで、新潟県内に産する主な樹木の発熱量と灰分の測定を行った。

本試験を行うにあたり、熱量計を使用させていただいた新潟県農業総合研究所畜産研究センターに深く感謝申

し上げる。

II 試験方法

試験対象樹種は付表1のとおりで、新潟県森林研究所(村上市鶴渡路地内)、村上実験展示林(村上市下山田地内)、海岸防災林(村上市瀬波温泉及び松喜和地内)から採取した広葉樹33種、針葉樹4種の合計37種である。新潟県内に分布する34種に加えて、少雪地帯に植林が試みられているヒノキ、海岸防災林などに多く植栽されているニセアカシア、街路樹として植栽されているユリノキも対象にした。

これらの樹種について、それぞれ木部、樹皮、枝、葉の部位ごとに含水率を測定した後、粉碎し発熱量と灰分を測定するサンプルを作成した。

発熱量の測定は新潟県農業総合研究所畜産研究センターが所有するYM-熱研式デジタル熱量計(株式会社吉田製作所)を使用し、2回の測定でその差が平均の1%以上になった場合は再度測定し3回を平均した。

また、灰分は電気炉で600℃2時間燃焼後の灰の重量から求めた。

さらに、木部については水を加圧注入して飽水状態にし、飽水重量(G_1)と水中重量(G_2)を測定した後で乾燥して絶乾状態にして絶乾重量(G_0)を測定し、下記の式により容積密度(R)を求めた。

$$R \text{ (g/cm}^3\text{)} = G_0 / (G_1 - G_2)$$

III 結果

1 発熱量と灰分

全37種の灰分と発熱量をそれぞれ部位ごとに図1に示した。灰分、発熱量ともに絶乾重量に対する値である。なお、生活形の分類は付表1のとおりである。

(1) 木部

木部の発熱量は4,573~4,858kcal/kgで、灰分は0.26~1.32%の範囲であり、他の部位と比較すると樹種によるばらつきは非常に小さかった。

広葉樹の発熱量は4,658±65kcal/kg(平均±標準偏差、以下同じ)、灰分は0.69±0.25%であったのに対し、針葉樹の発熱量は4,803±41kcal/kg、灰分は0.37±0.05%で、針葉樹は広葉樹と比較して発熱量はやや高く、灰分はやや低い傾向が認められた。

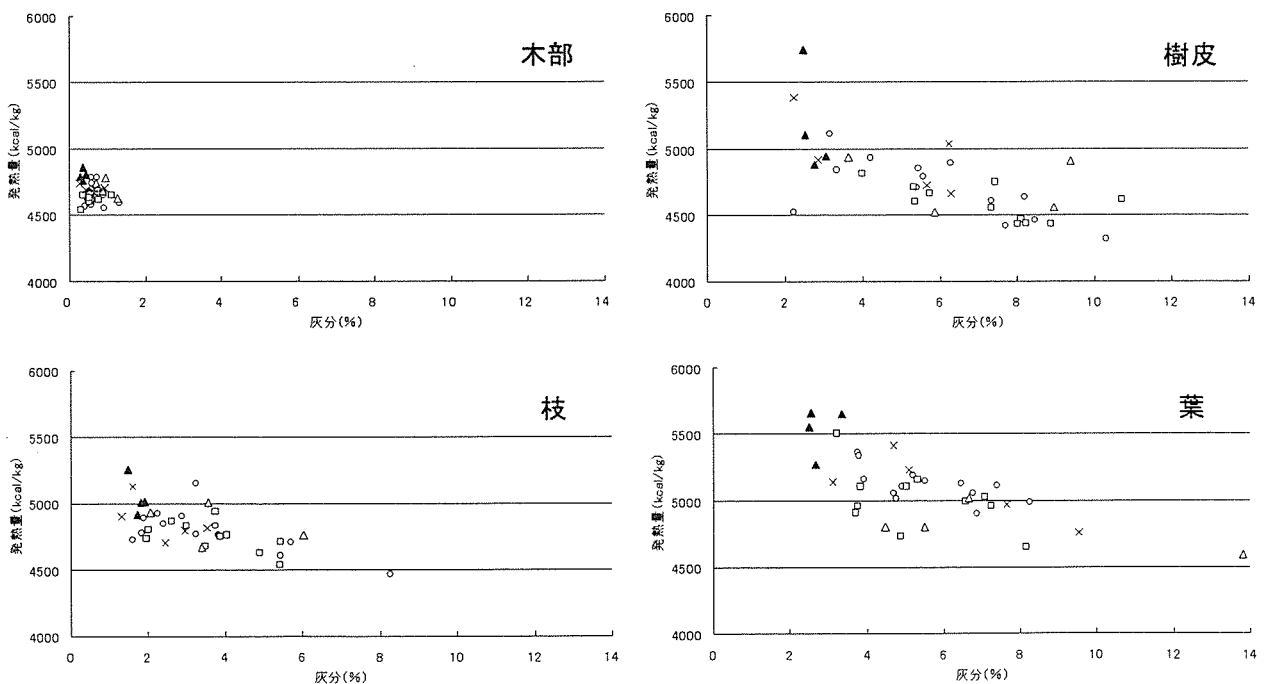


図1 各部位の灰分と発熱量

広葉樹 (○ : 大高木、□ : 中高木、△ : 小高木、× : 低木)

針葉樹 (▲ : 大高木)

(2) 樹皮

樹皮の発熱量は4,313~5,738kcal/kgで、灰分は2.24~10.71%の範囲で、木部と比較すると発熱量、灰分ともに樹種によるばらつきが大きかった。

広葉樹の発熱量は4,699±234kcal/kg、灰分は6.31±2.29%であったのに対し、針葉樹の発熱量は5,166±393kcal/kg、灰分は2.71±0.26%であった。

発熱量ではヒノキが5,738kcal/kgと最も高かったが、これは漏脂病に罹患していたヒノキであったため、樹脂が多く含まれているためと考えられる。続いてオオバクロモジが5,382kcal/kgであり、5,000kcal/kg以上あった樹種は他にアカマツ（5,104kcal/kg）とニセアカシア（5,111kcal/kg）であった。

灰分では概ね2%以上であり、10%を超えていた樹種はエゴノキ（10.71%）とサワグルミ（10.32%）であった。

(3) 枝

枝の発熱量は4,465~5,252kcal/kgで、灰分は1.31~8.27%の範囲で、概ね木部と樹皮の中間的なばらつきであった。

広葉樹の発熱量は4796±146kcal/kg、灰分は3.45±1.55%であったのに対し、針葉樹の発熱量は5046±144kcal/kg、灰分は1.73±0.18%であった。

発熱量で5,000kcal/kg以上あった樹種は、広葉樹ではタブノキ（5,149kcal/kg）、オオバクロモジ（5,125kcal/kg）、ヤマモミジ（5,007kcal/kg）、針葉樹ではアカマツ（5,252kcal/kg）、ヒノキ（5,011kcal/kg）、ク

ロマツ（5,005kcal/kg）であった。

灰分ではサワグルミが8.27%と特に高かった。

(4) 葉

葉の発熱量は4,588~5,658kcal/kgの範囲で、3分2以上の樹種が5,000kcal/kg以上であった。また灰分は2.50~13.81%の範囲であった。

広葉樹の発熱量は5,039±207kcal/kg、灰分は5.81±2.17%であったのに対し、針葉樹の発熱量は5,505±232kcal/kg、灰分は2.77±0.39%であった。

灰分は概ね2~8%の範囲であるが、ヤマグワは特に高く13.81%であった。

2 容積当たりの発熱量

図2に37種について木部の容積当たりの発熱量を高い順に示した。

最も容積当たりの発熱量が高い樹種はガマズミで3,068cal/cm³であり、ミズナラ2,952cal/cm³、コナラ2,819cal/cm³と続いている。針葉樹4種は、37種の中では容積当たりの発熱量は概ね低く、特にスギは最も低く、1,412cal/cm³であった。

図3に37種の容積密度と容積当たりの発熱量との関係を示した。

木部の単位重量当たりの発熱量は、4,573~4,858kcal/kgとばらつきが小さかったことから、容積当たりの発熱量は容積密度による影響が大きく、容積密度が高い樹種ほど容積当たりの発熱量が高い傾向が認められた。

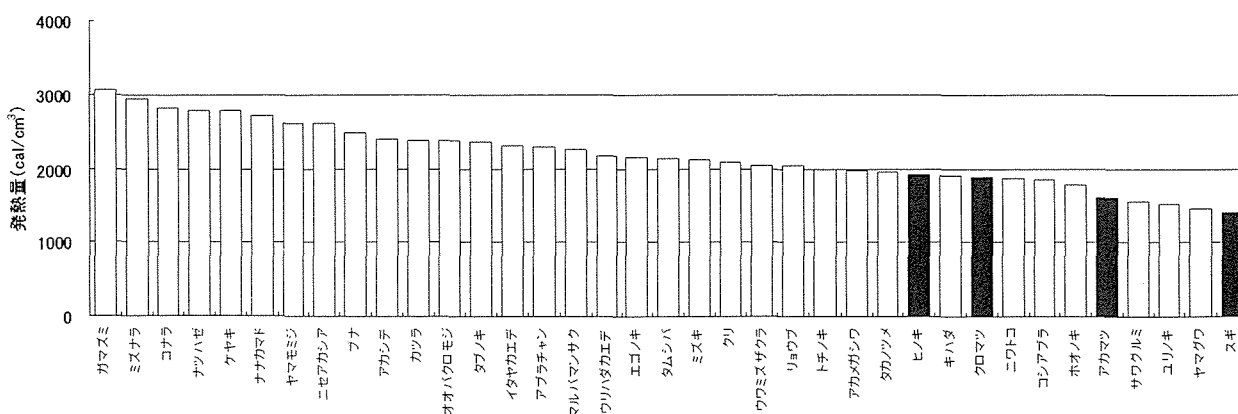


図2 樹種別木部の容積当たりの発熱量

□：広葉樹，■：針葉樹

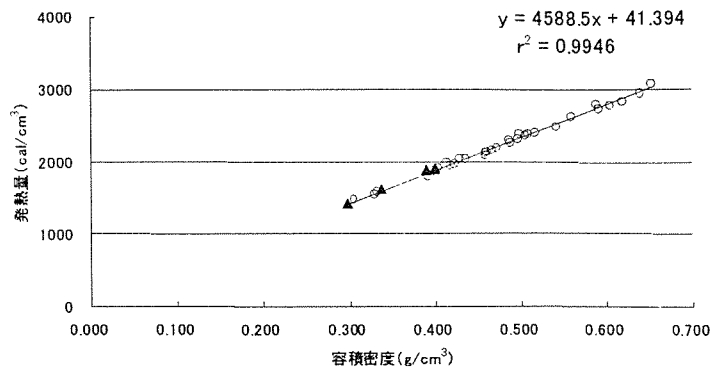


図3 容積密度と容積当たりの発熱量との関係

○：広葉樹，▲：針葉樹

IV 考察

木部の発熱量は広葉樹よりも針葉樹の方がやや高い傾向があった。これは、針葉樹にはリグニンなどが広葉樹よりも多いためと考えられる。また、灰分でも針葉樹は広葉樹と比較して少ない傾向があることから、針葉樹は重量で比較した場合、木質燃料として広葉樹よりもやや優れていると言える。

また、木部の単位重量当たりの発熱量は4,537～4,858 kcal/kgと樹種間に大きな差がないのに対し、容積密度は図3のとおり0.297～0.654g/cm³と2倍以上の差があった。そのため、図3のとおり容積当たりの発熱量は容積密度が高い樹種ほど高い傾向があった。つまり、針葉樹の多くは容積密度が低いことから、容積当たりの発熱量は広葉樹で高い傾向があり、薪としてそのまま利用するのであれば広葉樹の方が燃料として優れていると言える。しかし、大高木性樹種の広葉樹でもホオノキ、サワグルミ、ユリノキのように針葉樹とほぼ同じくらいの容積密度の樹種もあることから、広葉樹であっても薪として利用する場合は樹種を選別する必要がある。ただし、木質ペレットに加工して利用するのであれば、一旦粉碎して圧縮することから樹種ごとの発熱量の差は少なくなると思われる。

針葉樹の樹皮については、ヒノキが漏脂病による樹脂の混入で発熱量が高かったが、樹脂による影響がなければスギと同程度の4,900kcal/kg前後と判断される。このように、針葉樹の樹皮の発熱量は木部と比較してほぼ同じか、わずかに高いことから燃料として十分に利用可能である。ただし、灰分は3%前後あるので、灰が多く発生してもトラブルが少ないボイラーなどの利用が望ましい。

広葉樹の樹皮では特にオオバクロモジの発熱量が高かった。オオバクロモジは、登山者の間ではスギの葉と共に雨中に生木で火をおこす場合に適していると言われている（平田，私信）ことから、発熱量の高さはその裏付けとなった。

枝は全樹種を通して木部と樹皮の中間的なばらつきであった。針葉樹では、発熱量は樹皮とほぼ同じであったが、灰分は2%以下であった。一方広葉樹はばらつきが大きかったが、サワグルミを除けば発熱量は4,500kcal/kg以上、灰分は概ね6%以下であることから、森林整備によって発生した様々な樹木で燃料を製造した時の目安になるだろう。

葉では、針葉樹は発熱量が5,500kcal/kg前後と高く、灰分は樹皮とほぼ同じ3%前後であった。発熱量は樹皮と比較して約500kcal/kgほど高いことから燃料として有望である。

また広葉樹の葉は針葉樹と比べると灰分が多い樹種が多いことから、落葉広葉樹の場合はできるだけ落葉期に伐採作業を行うことで葉を含まない原料にすることが重要である。

以上のことから、樹種、部位別の燃料特性を図4のようにまとめた。

針葉樹4種については木部は広葉樹とほぼ変わらない燃料特性であるが、樹皮、枝、葉は広葉樹とは異なり、発熱量、灰分共にばらつきが小さかった。また、針葉樹は部位ごとに燃料特性が異なることからそれぞれを選別して燃料を製造することが品質を明確にするうえで重要になる。ただし、枝と葉は分離することが困難なので、今後は枝と葉を合わせた燃料特性を把握する必要がある。

広葉樹については、木部は樹種による差は小さかったが、樹皮、枝、葉については樹種ごとのばらつきが針葉樹と比較して非常に大きかった。したがって、広葉樹林

整備などで、一樹種を大量に集められる場合を除けば、多樹種を混合して均一化する必要がある。

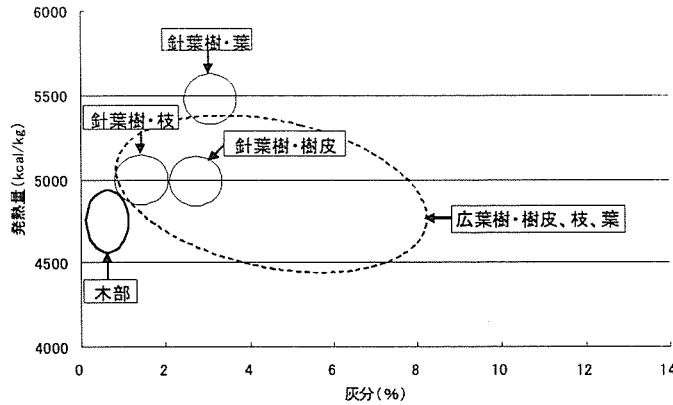


図4 樹種、部位別燃料特性

平成19年度に示された「木質ペレット品質規格原案」では発熱量は4,037kcal/kg以上であるが、37種のいずれの部位も規格を満たしている。

一方、灰分は1%以下、1-2%、2-8%と分類がされている。図1から木部については概ね1%以下、針葉樹の枝については1-2%、広葉樹、針葉樹の樹皮と葉については2-8%と判断されるが、広葉樹の枝については1-2%と2-8%の区分ができない。また、枝は樹種だけでなく、太さによって樹皮と木部の割合が異なることから、広葉樹の枝を樹種だけで明確に1-2%と2-8%に区分することは困難であろう。

灰は燃焼のさまたげやクリンカーの発生などトラブルの原因となる。しかし、広葉樹資源の多い新潟県では里山整備等で発生する原料についても燃料製造を考えていかねばならない。そのためには原料の燃料特性のみならず燃焼機器の開発を含めた検討が今後は必要になるだろう。

V おわりに

木質ペレットの生産には、まず製材工場等で発生する端材や樹皮などを利用することが安定した原料の供給に

なるが、その一方で新潟県ではボランティアによる里山整備で発生する様々な樹木も活用する動きが始まっている。本試験の結果が、新潟県で製造される木質ペレットの品質管理に参考になることを願っている。

引用文献

- 阿部房子 (1988) 森林バイオマスの熱化学的研究. 林試研報352: 1-95.
- 番場和徳 (2009) バイオマスタウン構想における木質エネルギー原料の確保と経済性. 新潟大学農学部生産環境科学学科卒論発表会要旨集
- 平田大六 (私信)
- 小島健一郎 (2008) 木質ペレット利用の現在 (草と木のバイオマス. 森林環境研究会. 森林文化協会, 東京). 122-135.
- 中川重年・松村正治 (2004) 神奈川県産樹木15種のバイオマス燃料としての特性評価. 神自環保セ1: 21-28.
- 林野庁計画課 (2008) 森林資源の現況 (平成19年3月31日現在)

付表 1-1 樹種、部位ごとの含水率、容積密度、発熱量、灰分

広・針	生活形	種名	部位	含水率(wet%)	容積密度(g/cm ³)	発熱量(kcal/kg)	灰分(%)
広葉樹	大高木	ブナ	木部	45.77	0.543	4576	0.58
			樹皮	49.64	—	4786	5.55
			枝	50.14	—	4772	1.85
			葉	48.73	—	5189	5.20
		ミズナラ	木部	39.85	0.640	4613	0.57
			樹皮	53.66	—	4887	6.30
			枝	49.68	—	4844	2.39
			葉	55.57	—	5156	3.93
		コナラ	木部	40.94	0.620	4547	0.94
			樹皮	46.94	—	4850	5.45
			枝	44.32	—	4764	3.83
			葉	50.26	—	5101	4.91
		ケヤキ	木部	41.08	0.606	4594	1.32
			樹皮	52.33	—	4453	8.48
			枝	50.22	—	4834	3.75
			葉	57.12	—	4895	6.88
		ホオノキ	木部	43.63	0.393	4563	0.41
			樹皮	60.83	—	4832	3.35
			枝	52.10	—	4884	1.89
			葉	70.28	—	5123	6.46
		トチノキ	木部	46.08	0.415	4782	0.74
			樹皮	52.37	—	4604	7.35
			枝	54.21	—	4609	5.43
			葉	66.60	—	5147	5.53
		イタヤカエデ	木部	43.71	0.497	4650	0.91
			樹皮	56.84	—	4701	5.40
			枝	52.64	—	4766	3.26
			葉	63.66	—	5050	6.78
		サワグルミ	木部	43.79	0.333	4693	0.76
			樹皮	54.63	—	4313	10.32
			枝	49.51	—	4465	8.27
			葉	65.67	—	5106	7.41
キハダ	木部	39.79	0.404	4738	0.61		
	樹皮	62.61	—	4630	8.23		
	枝	55.43	—	4704	5.69		
	葉	67.36	—	4985	8.27		
カツラ	木部	47.64	0.499	4784	0.58		
	樹皮	48.20	—	4414	7.70		
	枝	50.91	—	4898	2.89		
	葉	64.65	—	5010	4.76		
タブノキ	木部	42.16	0.507	4668	0.90		
	樹皮	55.44	—	4923	4.21		
	枝	51.82	—	5149	3.24		
	葉	59.21	—	5364	3.76		
ニセアカシア	木部	38.12	0.560	4679	0.55		
	樹皮	55.37	—	5111	3.17		
	枝	49.19	—	4924	2.27		
	葉	63.37	—	5331	3.80		
ユリノキ	木部	48.82	0.330	4627	0.48		
	樹皮	60.54	—	4516	2.24		
	枝	57.47	—	4726	1.60		
	葉	73.10	—	5054	4.68		
中高木	クリ	木部	49.62	0.460	4537	0.32	
		樹皮	56.17	—	4462	8.12	
		枝	52.84	—	4679	3.49	
		葉	55.20	—	4955	3.77	
	アカシデ	木部	40.05	0.518	4628	0.70	
		樹皮	37.30	—	4548	7.34	
		枝	44.91	—	4832	3.01	
		葉	55.01	—	4908	3.72	
	ミズキ	木部	47.72	0.460	4617	0.51	
		樹皮	60.90	—	4596	5.36	
		枝	51.93	—	4732	1.98	
		葉	71.71	—	4649	8.17	

付表1-2 樹種、部位ごとの含水率、容積密度、発熱量、灰分

広・針	生活形	種名	部位	含水率(wet%)	容積密度(g/cm ³)	発熱量(kcal/kg)	灰分(%)
広葉樹	中高木	ウワミズザクラ	木部	48.98	0.437	4671	0.55
			樹皮	56.66	—	4808	4.00
			枝	50.45	—	4801	2.01
			葉	61.68	—	5151	5.31
		コシアブラ	木部	47.08	0.402	4616	0.60
			樹皮	47.60	—	4431	8.88
			枝	46.70	—	4711	5.42
			葉	75.75	—	5026	7.11
		タカノツメ	木部	41.42	0.419	4653	0.57
			樹皮	44.55	—	4710	5.32
			枝	48.32	—	4750	3.89
			葉	74.94	—	5100	5.02
		ナナカマド	木部	40.89	0.592	4602	0.53
			樹皮	47.56	—	4433	8.25
			枝	49.61	—	4758	4.06
			葉	61.31	—	4990	6.59
		ウリハダカエデ	木部	40.99	0.473	4615	0.79
			樹皮	50.71	—	4741	7.45
			枝	52.80	—	4625	4.90
			葉	73.47	—	4955	7.28
		エゴノキ	木部	42.78	0.467	4626	0.55
			樹皮	48.89	—	4612	10.71
			枝	45.62	—	4866	2.61
			葉	60.74	—	5503	3.23
	アカメガシワ	木部	44.42	0.424	4650	1.12	
		樹皮	60.37	—	4425	8.02	
		枝	52.07	—	4532	5.40	
		葉	61.58	—	4732	4.89	
	タムシバ	木部	43.71	0.461	4650	0.38	
		樹皮	57.58	—	4660	5.75	
		枝	54.71	—	4936	3.77	
		葉	69.59	—	5100	3.85	
小高木	リョウブ	木部	55.48	0.430	4740	0.71	
		樹皮	65.17	—	4934	3.63	
		枝	53.52	—	4929	2.06	
		葉	68.36	—	5019	6.66	
	ヤマモミジ	木部	40.24	0.560	4686	0.89	
		樹皮	38.56	—	4557	8.95	
		枝	45.85	—	5007	3.56	
		葉	64.10	—	4803	5.50	
	ヤマグワ	木部	53.64	0.305	4782	0.97	
		樹皮	61.51	—	4906	9.41	
		枝	56.51	—	4758	6.01	
		葉	80.48	—	4588	13.81	
マルバマンサク	木部	48.17	0.489	4624	1.28		
	樹皮	50.20	—	4517	5.86		
	枝	50.51	—	4672	3.40		
	葉	70.38	—	4803	4.47		
低木	ニワトコ	木部	52.14	0.400	4694	0.65	
		樹皮	71.47	—	5033	6.25	
		枝	64.33	—	4704	2.46	
		葉	79.96	—	4761	9.54	
	オオバクロモジ	木部	40.31	0.510	4667	0.66	
		樹皮	56.78	—	5382	2.24	
		枝	46.95	—	5125	1.60	
		葉	64.64	—	5411	4.68	
	アブラチャン	木部	40.24	0.488	4704	0.92	
		樹皮	55.18	—	4721	5.67	
		枝	50.47	—	4818	3.55	
		葉	75.20	—	4970	7.64	
ガマズミ	木部	41.00	0.654	4691	0.45		
	樹皮	48.85	—	4657	6.29		
	枝	46.88	—	4793	2.97		
	葉	58.47	—	5229	5.09		

付表 1-3 樹種、部位ごとの含水率、容積密度、発熱量、灰分

広・針	生活形	種名	部位	含水率(wet%)	容積密度(g/cm ³)	発熱量(kcal/kg)	灰分(%)
広葉樹	低木	ナツハゼ	木部	40.91	0.590	4736	0.26
			樹皮	36.82	—	4913	2.87
			枝	41.21	—	4903	1.31
			葉	62.16	—	5137	3.11
針葉樹	大高木	スギ	木部	68.18	0.297	4760	0.36
			樹皮	49.89	—	4880	2.77
			枝	50.15	—	4917	1.73
			葉	58.74	—	5647	3.35
		アカマツ	木部	64.27	0.338	4806	0.43
			樹皮	61.34	—	5104	2.53
			枝	60.06	—	5252	1.48
			葉	66.12	—	5548	2.50
		クロマツ	木部	61.79	0.390	4858	0.38
			樹皮	52.72	—	4940	3.05
			枝	55.89	—	5005	1.81
			葉	60.51	—	5270	2.68
		ヒノキ	木部	49.53	0.400	4789	0.30
			樹皮	46.36	—	5738 *	2.48
			枝	53.08	—	5011	1.91
			葉	57.36	—	5658	2.56

* : ヒノキの樹皮の発熱量は漏脂病による樹脂の影響で高くなっていると考えられる。