

木質バイオマス発電に適する木材

五ヶ瀬中等教育学校(5年) 吉村 真輝
指導教諭 村上 貴義
甲斐 和美
椎葉 耕一

1. 研究の要約

私は木質バイオマス発電について研究した。木質バイオマス発電とは、木材を燃料とする火力発電である。新しい発電技術として注目されている。従来の火力発電より CO₂排出量が少ないという利点がある。また、使う木材は建材以外の部分なので環境にも優しい。しかし、発電出力は高くない。そこで、どのような木材がこの発電に適し、出力向上につながるのかを調べた。最初に文献調査では2つのことが分かった。1つは、木材は水分がなくなるまで燃えないこと。もう1つは、木材の細胞壁に含まれるセルロースやそのほかの成分が燃焼することだった。次に手に入れやすい、スギ、クヌギ、アカシデ、の3種類の木材を燃焼させ、その熱量とCO排出量を調べた。ちなみにCOはCO₂とは異なり、木材を燃焼させる際の燃料となるため、これが多いほど熱量が大きくなると考えられる。三者の熱量は、それぞれ、8.99 °C/50 ml、9.42 °C/50 ml、9.22 °C/50 ml であった。三者のCO排出量は、それぞれ、25 ppm / 100 ml、50 ppm / 100 ml、50 ppm / 100 ml であった。クヌギの実験結果が良かった理由として、クヌギが他の木材と比べ、水分が少なく、セルロースなどの量が多かったと考えた。つまりこの研究では、クヌギが木質バイオマス発電に最も適していることが分かった。

Abstract

I researched wood biomass power generation. It is a form of thermal power generation that uses woods as a fuel. It is becoming popular as a new technology for power generation. This method of power generation has a strong point in that it discharges less carbon dioxide than other form of thermal power generation, and it does not use building materials like the rest of them, so it is eco-friendly. But it does not currently have the ability to make a high amount of power. Therefore I researched what kind of woods is suitable for significant power generation. First, I checked the literatures and saw two things. One thing was that wood cannot burn with water in it, which is to say that wood which contains less water burns better. Additionally cellulose and other constituents of the cell wall of wood burn efficiently. Second, I inspected the calorific value and the amount of carbon monoxide released by burning three kinds of wood; Japanese cedar, oak and beech, all of which are easy to get. Some people think carbon monoxide is the same as carbon dioxide. But carbon monoxide is a fuel when a wood burn. So I think that the higher the amount of carbon monoxide rises, the higher the calorific value rise. Each wood's calorific value was 8.99 °C/50 ml, 9.42 °C/50 ml, 9.22 °C/50 ml in turn. Each wood's amount of carbon monoxide was 25 ppm/100 ml, 50 ppm/100 ml, 50 ppm/100 ml in turn. I thought that the reason why oak got a good result was that oak has less water and more cellulose than the other tested types of wood. In short, I saw that oak has an aptitude for wood biomass power generation.

2. 問題意識と研究の目的

2011年の福島原発事故問題後、各メディアで原子力発電の危険性や、それに代わるエネルギーに関する話題が大きく取り上げられるようになった。そうしたものを見る中で新しいエネルギー資源として木質バイオマス発電というものがあると知り、私は興味を持った。木質バイオマス発電とは、その名の通り従来の化石燃料の代わりに木材を燃料とする火力発電のことである。日本は国土の7割が森林であるにもかかわらず、林業は徐々に衰退していく傾向にある。私の父親も林業従事者であり、最近では木材の価格も低迷していると聞く。そこで需要が少なくなっているという木材をこの発電に有効に利用できないかと考えた。そこで研究テーマとして取り上げ、身近で手に入る木材の中で、どのような木材がバイオマス発電に適しているのかを調べることにした。しかし実際に発電することは難しいため、発電効率を上げるために最も必要な要素は燃焼熱だと考え、スギ、クヌギ、アカシデという3種類の木材を用い、それらを燃焼させた際の熱量を実験によって調べることにした。また、木材によってCO₂排出量がどれほど変わるかということにも興味をもったので、調べることにした。

3. 研究の方法

《文献調査》

インターネットや図書室の文献を用いて次の項目の調査を行う。

- (1) 使用する木材の特徴
- (2) 燃焼の仕組み
- (3) 木質バイオマス発電について

《実験》

雑木林などでよく見かけられ、簡単に手に入れることのできたスギ・クヌギ・アカシ

デの3種類の木材を右の写真のようにφ13mmドリルで粉碎し



たものを用いた実験を行う。

(1) 熱量測定実験

…木材を燃焼させ、その際に発生する熱で水を温めその上昇幅を測定、比較する。

(2) 排出ガス測定実験

…木材を燃焼させ、その際に発生する気体を採取、気体検知管を用いて濃度を測定する。

4. 結果と考察

《文献調査》

(1) 使用する木材の特徴

スギ、クヌギ、アカシデについて、それぞれの学名、種属、分類、樹高、成木になるまでの年数、特徴などを調べた。

i) スギ



- ・学名 / *Cryptomeria japonica*
- ・種属 / スギ科スギ属
- ・分類 / 常緑針葉高木
- ・樹高 / 30~60m
- ・成木 / 30~40年
- ・特徴 / 戦後、日本の山地に大量に植林された。建築用材としての適性が高い

ii)クヌギ



- ・学名 / *Quercus acutissima*
- ・種属 / ブナ科コナラ属
- ・分類 / 落葉広葉高木
- ・樹高 / 10～15m
- ・成木 / 15～20年
- ・特徴 / ドングリはこの木の実。薪炭材や椎茸栽培のほだ木として利用される。

iii)アカシデ



- ・学名 / *Carpinus laxiflora*
- ・種属 / カバノキ科クマシデ属
- ・分類 / 落葉広葉高木
- ・樹高 / 10～15m
- ・成木 / 15～20年
- ・特徴 / 地方によってシデノキ、ソヤ、などと呼び方が様々クヌギと同じく椎茸栽培のほだ木として利用される。

(参考：樹木名一覧)

またこれらの3種類を比較したところ、具体的な数値はないが、樹皮の厚さはクヌギ>スギ>アカシデ という順に、ドリルで粉碎した際の堅さもクヌギ>スギ>アカシデ であった。

(2) 燃焼の仕組み

木材は一般的に火炎や火炎温度にさらされてもすぐに発炎し、燃焼することはない。なぜならば木材は複雑な過程をたどって燃焼に至っているからである。その過程は大まかに述べると次のようなものである。

- ① 木材が加熱されることによる水分の蒸発 (～100℃)
- ② 木材成分の脱水反応による表面の変色 (～150℃)
- ③ 2大成分(セルロース、リグニン)の熱分解 (200～500℃)
- ④ 熱分解生成物への引火あるいは発火による燃焼 (270℃～)

まず①の段階で細胞質内にあるような自由水が蒸発し、②の段階では細胞壁を形成するセルロースなどの分子を結合する結合水が失われ、褐色から黒褐色に炭化する。またこの脱水反応とともに熱分解が起き、③のように2大成分から CO、CH₄、C₂H₆、H₂、アルデヒド、ケトン類、有機酸のような可燃性ガスが発生する。また、木材の熱分解は発熱反応であるので、熱分解はさらに加速され、ある一定の条件を充たすと引火あるいは発火する。そしてその燃焼熱がさらに熱分解を促進させ、木材の燃焼範囲が広がるというのが木材の燃焼する仕組みである。

(補足)

- ・セルロース
 - …植物細胞壁の主成分である鎖状高分子化合物。
- ・リグニン
 - …細胞壁内および細胞壁間に沈着し、細胞同士を膠着させる芳香族高分子化合物。リグニンの存在により木材は強固になっている。

また、着火するための一定条件とは以下の2つの条件である。

- ア) 熱分解生成物と空気からなる可燃性混合気体が発火に必要な濃度に達する
- イ) 条件ア)を充たした可燃性混合気体の発火に必要なエネルギーが供給される

引火は ア)の条件が満たされれば着火するが、発火はおもに ア)を充たした上でイ)が充たされないと起きない。ただし低温での長時間加熱など、木材の置かれた環境によっては イ)が先行し、ア)が充たされることによって発炎することもある。

さらに、燃焼には4種類ある。

i) 発炎燃焼



写真のように赤色からオレンジ色の火炎を呈する燃焼。可燃性混合気体が引火あるいは発火して燃焼したもので、放出する熱量も多い。

ii) くん焼

発光あるいは炎のない燃焼で、大量の煙を伴う。着火するための2つの条件を満たしていない状態での燃焼で、空気の供給によって爆発的に発炎燃焼へと拡大する危険性を持つ。

iii) 赤熱燃焼



発炎燃焼終了後あるいは可燃性ガスの放出後に、熱分解炭素残差の酸化反応によって引き起こされる燃焼。写真のように発光はあるが、一般的な炎の形成と煙の生成はない。燃焼速度は遅く、放出される熱量も発炎反応と比べて少ない。

iv) 粉じん爆発

空気中に浮遊している木粉のような可燃性固体の微粒子に火炎、放電火花などが触れて爆発する現象。

木材の燃焼は主に発炎燃焼であり、炭の燃焼は赤熱燃焼である。

(参考：木材活用辞典)

(3) 木質バイオマス発電について

現在ある木質バイオマス発電の方式は2種類である。

i) ボイラー式

木材を直接燃焼させ、その熱で蒸気を作り、蒸気タービンを回す方式

ii) ガス化式

木材を不完全燃焼させる、あるいは微生物に分解させることによって得たガスを用いてガスタービンを回す方式

現在日本で稼働している木質バイオマス発電所は10か所もなく、そのすべてがボイラー方式である。ガス化方式は現在実験段階である。

また、海外と日本の木質バイオマス発電所を比較すると、日本の発電所には次のような問題点があることが分かった。

～使用木材について～



現在燃料として使われているのは、建築用材として植林されたスギなどの間伐材をチップ化したもの（左上写真：<http://wbi.main.jp/web/7/catalog.html>より）である。しかし林業従事者が減少傾向にある現在、大量の木材チップを収集することは難しい。またそのチップ自体



ももとの木の半分ほどからしかできておらず、残りは伐採時の林地残材（左写真：<http://wbi.main.jp/web/7/catalog.html>より）や加工時の工場残材として残ってしまっている。木質バイオマス発電において先進国ともいえるドイツでは、高価なチップよりもこれらの林地残材を活用しようという動きが強く、実際の利用率は90%を超える。日本もこの例に倣って、改善すべきである。

～規模について～

日本の発電所は発電量が 10,000 kW とドイツで主流の 2,000 kW と比べると大規模なものが多く、大規模であればあるほど使用する木材チップの量も増える。しかし日本は物資輸送時のコストが高く、さらに調達する木材チップは山地からの輸送のため、大量に輸送しようとする格段にコストが高くなってしまふ。また大型化により排熱量も大きくなってくる。ヨーロッパなどは日本と比べると寒冷であるため排熱を利用しやすいが、日本の場合あまりにも膨大な排熱を利用できておらず、大きなエネルギーロスになっている。

これらのことを考えると木質バイオマス発電では、大型化して発電効率を求

めるよりも、小型でコストを削減し、排熱を有効に使うという路線を模索したほうが賢明だと考えられる。実際にドイツでは、1基当たりの発電量が2,000kWが主流であるにもかかわらず、国内総合では125億kW（原発2基分）も木質バイオマス発電でまかなっている。

（参考：木質バイオマスエネルギーの現状と課題）

《実験》

(1) 熱量測定実験

～実験方法～

次の写真のような装置を用いて、①～③の手順と条件で実験を行った。



写真1： 燃烧皿



* 空気孔をあける

写真2： 燃烧皿底部



写真3： デジタル温度計



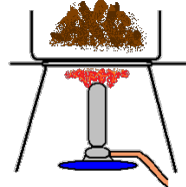
写真4 :
加熱装置



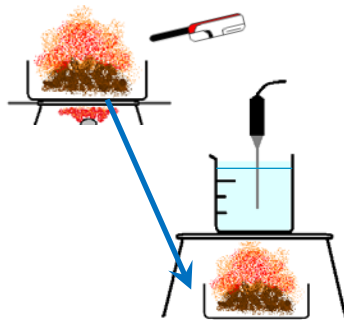
写真5 :
測定装置

実験手順

- ① 木材をスチール燃焼皿(写真1)に入れ、ガスバーナーで3分間加熱する(写真4)



- ② 木材に点火し、燃焼皿を測定装置の下に移し、(写真4~5)6分間放置する



- ③ 装置(写真5)に設置したビーカー内の水温を設置したデジタル温度計により②の操作前と操作後で記録する

実験条件

- ・使用する木材 7g
- ・加熱させる水 室温で 50 ml
- ・加熱装置による木材の加熱 3分
- ・木材の燃焼時間 6分

～仮説～

使用木材の特徴でも述べたように、3種類の中でクヌギが1番堅かったため、セルロースなどの成分を多く含み、その影響で熱量が高くなるのではないかと考え、クヌギが1番熱量が高いと予想した。

～結果～

実験は10月24日と11月14日に行った。

- i) 10 / 24 (木)

天候 晴れ 気温 20.5 °C

表1 : 10 / 24 結果 (単位 °C)

	スギ		クヌギ		アカシデ	
	前	後	前	後	前	後
1回目	20.3	28.1	19.4	28.4	18.8	26.8
変量	7.8		9		8	

- ii) 11 / 14 (木)

天候 晴れ / くもり

気温 表2参照

表2 : 11 / 14 気温 (単位 °C)

	9:00 (1,2 回目)	10:00 (3,4 回目)	11:00 (5,6 回目)	13:00 (7,8 回目)
気温	13	15	16.5	16.8

表3 : 11 / 14 結果 (単位 °C)

	スギ		クヌギ		アカシデ	
	前	後	前	後	前	後
1回目	11.7	16.6	11.8	20.3	12.2	21.2
変量	4.9		8.5		9	
2回目	12.6	21.7	12.9	23.1	12.8	23.6
変量	9.1		10.2		10.8	
3回目	13.1	21.6	13.3	19.3	13.5	22.5
変量	8.5		6		9	
4回目	15.1	24.3	15.1	26.4	15.7	26.1
変量	9.2		11.3		10.4	

5回目	15.8	25.8	15.2	27.3	15.4	26.1
変量	10		12.1		10.7	
6回目	15.3	24.9	15.7	26.3	15.3	25
変量	9.6		10.6		9.7	
7回目	15.7	25.9	15.8	26	15.6	24.7
変量	10.2		10.2		9.1	
8回目	15.7	26.4	15.8	22.7	16	22.3
変量	10.7		6.9		6.3	

表1と表3の結果をまとめると表4のようになった。

表4：最終結果 (単位 °C)

	スギ	クヌギ	アカシデ
10月24日	7.8	9	8
11月14日 1回目	4.9	8.5	9
2回目	9.1	10.2	10.8
3回目	8.5	6	9
4回目	9.2	11.3	10.4
5回目	10	12.1	10.7
6回目	9.6	10.6	9.7
7回目	10.2	10.2	9.1
8回目	10.7	6.9	6.3
平均	8.89	9.42	9.22

よって

クヌギ > アカシデ > スギ

の順で熱量が高いことが分かった。

また目測ではあるが、3種類とも着火した後の2～3分間は発炎燃焼であったが、それ以降は赤熱燃焼へと変わっていた。

～考察～

文献調査の項目で前述したとおり、発炎燃焼のほうが赤熱燃焼より得られる熱量が多い。しっかりとした計測をしていないが、発炎燃焼から赤熱燃焼へ変化したタイミングは大差な

かったことから、クヌギは他の2種類と比べてセルロースなどの成分が多かったため熱量が最も高かったと考えられる。

(2) ガス排出量測定実験

当初は右のような木材燃焼時に発生するガスのみを採集する装置を作成し、その中で木材を燃焼させ、CO や



CO₂ を採集する予定であった。しかし、空気の供給が悪く、途中で炎が消えてしまい、燃焼させ続けることができなかった。また空気を供給させるために空気孔を大きくしたところ、そこから発生したガスが漏れしてしまう事態となった。

そこで完全燃焼させた際に発生するガスを採集するのではなく、不完全燃焼させた際に発生するガスを採集することにした。しかし今度は発生する CO₂ 量が極端に減ってしまい、気体検知管で測定できる量ではなくなってしまったので、CO のみを測定し、その結果から CO₂ 量を推測することにした。

～実験方法～

次の写真のような器材や装置を用いて、

①、②の手順と条件で実験を行った。



写真6：気体検知管



(株)ガステック ガス吸引器
(100ml)

写真7 : 気体吸引器



写真8 : 加熱容器



* 空気孔をあけ、ガスが漏れないよ
う写真8の右側のような丸めたアルミホイルを入れ、底上げをする

写真9 : 加熱容器底部



* 加熱装置とガス採集・測定装置はゴム管でつなぐ

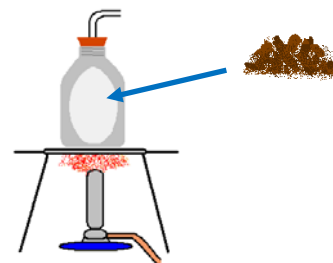
写真10 :
加熱装置



写真11 :
ガス採集・測定装置

実験手順

- ① アルミ容器(写真8左)にアルミホイル(写真8右)を入れたのち、木材を入れ3分間加熱する



- ② 加熱装置(写真10)からガス採集・測定装置(写真11)への回路を閉じ、気体検知器において気体を採集、濃度を測定する

実験条件

- ・使用する木材 7g
- ・加熱時間 3分
- ・測定(吸引)時間 3分 × 2回
- * 取扱説明書に従う

～仮説～

熱量測定実験ではクヌギが最も熱量が大きかったのでその分だけ CO 排出量も多くなると予想した。

～結果～

実験を試みたが、今回使用した検知管の測定域である 5~50 ppm/100ml の範囲(写真の矢印間)に満たない、あるいは超えてしまい、測定することができなかった。



～考察～

条件としてそろえられなかった3種類の木材の含水量が今回の結果に関係しているのではないかと考えた。またその日の湿度と木材の乾きやすさに関係があるのではないかと考えた。実際に文献でも、木材は加熱された際に熱分解よりも優先的に脱水反応が起こっていると記載されていたため、このような結果になったのだといえる。

この結果を踏まえて実験の内容を変更することにした。当初の目的は CO 排出量を測定することによって、CO₂ 排出量を推測するものであった。それを CO 排出量を測定することによって含水量の比を推測し、ガスの排出しやすさ、つまり燃焼のしやすさを比較することにした。

～実験方法～

方法自体は変えなかったが、条件を次のように変更した。

- ・使用する木材 7g
- ・加熱時間 ~~3分~~
→ 1分 (ただし測定できなかった場合3分に延長)
- ・測定(吸引)時間 3分 × 2回

～仮説～

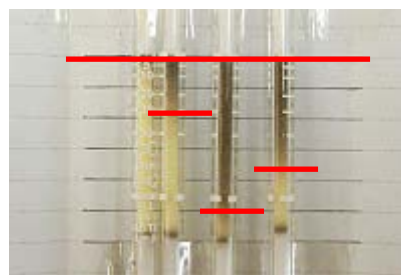
木材を7g計測した際にアカシデが最も量が多いように感じた。これは水分が少ないためだと考えられたので、アカシデが最も CO 排出量が多いと考えた。

～結果～

12月6日と1月23日に実験を行った。測定域を超える量の CO が出たものもあったが、比較できる範囲であったため使用した。

i) 12 / 6 (木)

天候 晴れ 気温 9.5 °C
湿度 86 % 燃焼時間 3分

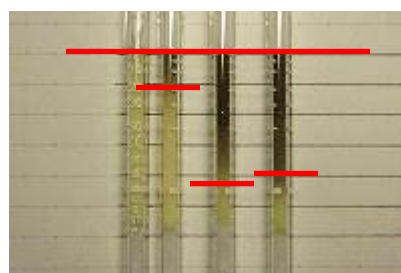


左から

- ・未使用
 - ・スギ 30 ppm/100ml
 - ・クヌギ 50 ppm/100ml 以上
 - ・アカシデ 50 ppm/100ml 以上
- 長さで濃度を比較すると
クヌギ > アカシデ > スギ

ii) 1 / 23 (木)

天候 晴れ 気温 13.2 °C
湿度 45 % 燃焼時間 1分



左から

- ・未使用
 - ・スギ 25 ppm/100ml
 - ・クヌギ 50 ppm/100ml 以上
 - ・アカシデ 50 ppm/100ml 以上
- 長さで濃度を比較すると
クヌギ ≒ アカシデ > スギ

よって i)、ii)より

クヌギ > アカシデ > スギ
の順でガスを排出しやすい、つまり含水量が少なく燃焼しやすいということが分かった。

～考察～

仮説に反したが、クヌギが3種類の中では1番含水量が低かったため多くのガスが排出されたと考えられる。

また木材成分の熱分解温度はリグニンが240～350℃と他の成分と比べて低いほうであり、3種類の中で最も堅かったクヌギはリグニン量が最も多いと考えられるため、低い温度でも多くのガス排出できたと考えられた。

5. まとめ

木質バイオマス発電に適する木材の条件として、

- ・熱量が大きい
- ・ガスを排出しやすい = 含水量が少なく
燃焼しやすい

という2つがあげられ、今回の研究では熱量、排出ガス量測定ではどちらも

クヌギ > アカシデ > スギ

の順で熱量、ガス量が大きくなり、3種類の中ではクヌギが最も木質バイオマス発電に適していることが分かった。

またここからクヌギのような

- ・含水量が少ない
- ・材質が堅い(リグニン量が多い)

木材が木質バイオマス発電に適していることが推測される。

しかし、今回実験で用いた木材は丸太の部分であり、この部分のみを用いて発電を行った場合、森林にかかる負担が大きくなってしまふ。発電においては実験で使用しなかった枝などの部分も有効利用する必要があり、これらの燃焼についても今後検証する必要がある。

6. 参考資料

- ・株式会社産業調査会 木の情報センター
『木材活用辞典』
株式会社産業調査会 辞典出版センター
- ・梶尾 恵司
「木質バイオマスエネルギー利用の
現状と課題」
富士通総研(FRI) 経済研究所
- ・「岩手・木質バイオマス研究会」
<<http://wbi.main.jp/>>
- ・「アジア・バイオマスエネルギー協力推進
オフィス」
<[http://www.asiabiomass.jp/topics/
1105_01.html](http://www.asiabiomass.jp/topics/1105_01.html)>
- ・「蔵前バイオマスエネルギー技術サポート
ネットワーク」
<[http://www.kuramae-bioenergy.jp/
news/?p=662](http://www.kuramae-bioenergy.jp/news/?p=662)>
- ・「大気環境保全工学分野-木質バイオマス
ガス化」
<[http://www.hucc.hokudai.ac.jp/
~r16736/gasification.html](http://www.hucc.hokudai.ac.jp/~r16736/gasification.html)>
- ・「APEC-VC-1 木質バイオマスの
ガス化発電」
<[http://www.apec-vc.or.jp/j/modules/
tinyd00/index.php?id=85&kh_open_
cid_00=36](http://www.apec-vc.or.jp/j/modules/tinyd00/index.php?id=85&kh_open_cid_00=36)>
- ・「樹木名一覧」
<[http://zasshonokuma.web.fc2.com/
jumokumeide/jumokumeide.html](http://zasshonokuma.web.fc2.com/jumokumeide/jumokumeide.html)>
- ・「木質ペレット燃焼装置」
<[http://www.olympia-burner.co.jp/
peretpage1.html](http://www.olympia-burner.co.jp/peretpage1.html)>
- ・「木質バイオマス燃料」
<[http://wbi.main.jp/web/7/catalog.
html](http://wbi.main.jp/web/7/catalog.html)>