

気楽に読める森林バイオマス利用講座

－その1・燃焼の化学－

林産試験場 普及課長 富 樫 巖

はじめに

昨今、森林バイオマスの利用とか、バイオマスのエネルギー利用などの単語を目にする機会が増えました。農林水産省が「バイオマス・ニッポン総合戦略」と命名した、わが国の将来を見据えたバイオマスの利活用に関する総合的な施策(お役所の活動方針)を打ち出したことが発端と言えましょう。その内容の詳細については他に譲りますが、目指すものは国内のバイオマス資源をもっと有効利用しようという取り組みです。

一口にバイオマスの利用と申しまして、マテリアル利用とエネルギー利用に大別され、かつそれぞれの利用分野ともに幅の広さと奥行きを持っています。まずは、バイオマスの定義から始めるのが筋道の通ったストーリー展開とは思いますが、『気楽』を枕詞にしている本講座では、堅いことは気にしないでお付き合いください。そもそも、バイオ(Bio:生き物)とマス(Mass:モノの集まり)を合わせた単語ですから生き物に関係のあるものと理解して、先に進みましょう。そして、バイオマスの一つとして森林バイオマスが含まれることとなります。木造住宅を建てることもバイオマス利用(マテリアル利用)、薪を燃やして暖を取ることもバイオマス利用(エネルギー利用)です。



図1 燃焼の化学とは？

最初の講義としては、エネルギー利用分野の熱化学的変換に注目し、木材の燃焼について、化学の土俵で考えてみます。ウッディ エイジの読者の皆さんの中には化学が嫌いな人もいますが、そこを無理してこの講座に付き合うことで、化学反応が理解できるようになり、化学を学ぶことが楽しくなるかも知れません。『気楽』にお付き合いください。損はさせません(図1)。

化学記号の話

地球温暖化防止会議とか、京都議定書とか、二酸化炭素濃度の上昇が地球温暖化の元凶であるなどの単語やフレーズは、すでに読者の皆さんの目や耳に届いていることでしょう。そんな皆さんは、林野庁などの役所や業界団体などが作成したパンフレットなどから、「木材は、地面の水と大気中の二酸化炭素とを吸って自身の体を大きくします」という光合成反応に関する知識を無意識のうちに頭の中に入れていただいているのではないのでしょうか。水と二酸化炭素を化学記号で表現すると、それぞれ H_2O と CO_2 になります。 H_2O のHは水素、Oは酸素、 CO_2 のCは炭素を表す記号です。また、2は数を表しています。具体的には、水1個の分子は、水素と呼ばれる原子2個と酸素と呼ばれる原子1個からできていることを意味しています。すると、二酸化炭素の分子は、炭素原子1個と酸素原子2個でできていることもお分かりになるとと思います。

堅い話になってきましたが、分子や原子という単語を忘れたとしても、 H_2O や CO_2 が表現している意味を逆の角度からみると新たな発見があります。それは、水とは水素2対して酸素が1の割合で集まっているもの、二酸化炭素は炭素1に対して酸素が2の割合で集まっているものという、集まり方の割合が化学記号から読めるということです(図2)。

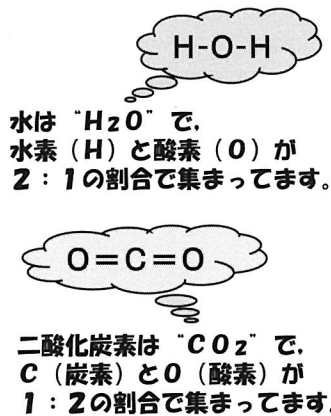


図2 水と二酸化炭素の化学

木材を化学記号で表す

木材を化学記号で表現することも可能なはずですが、「もうすでに頭が痛い…」ですか。良薬は口に苦しと言われます。人生の間口を広げるには、最初だけ少し頭が痛いものと考えてください。痛さの後には、化学の悟りを開いた貴方が待っています。大つかみですが、図3のように木材を化学記号で表すことができると言われています(“木材の化学”を参照、参考図書により多少数値が異なる)。木材と一口で言っても、針葉樹や広葉樹の違い、広葉樹であってもたくさんの樹種があります。そこで、いろんな樹木を大雑把に取りまとめた結果が図に示す化学記号のようになると考えてください。あらゆる樹木の平均値みたいなものと理解してください。炭素が1.6、水素が2.2、そして酸素が1個の割合で集まったものというのは、どうも納得しがたいと感じている方は、木材とは炭素が16、水素が22、酸素は10の割合で集まったものが最小単位と考えてはいかがでしょうか。

また、見方によっては、炭素が16と水素が2の割合で集まったものに水分子(H₂O)が10個付いているよう

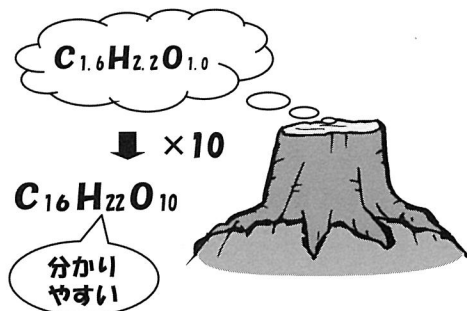


図3 木材を化学記号で表す

にも考えられます。光合成により水と二酸化炭素から作られている木材ですから、水が含まれていても不思議ではないはずですが、でも本当は、C₁₆H₂₂O₁₀に水の分子(H₂O)が10個くっ付いているのではなく、炭素(C)、水素(H)、および酸素(O)のそれぞれの原子が複雑な網か鎖のようにつながっているのです。すでに皆さんもご存知のように、このC、H、Oがいろいろと組み合わせられて、セルロース、ヘミセルロース、そしてリグニンと呼ばれるものになっています。ここでは、木材とはC、H、Oが16：22：10の割合で集まったものであると理解してください。

でも、生材には水が含まれているのだから、その水はどこに付いているのか説明しろと言われるのですか。図3の化学記号は、水をすべて追い出し、カラカラに乾かした木材を表しているのです。生材を乾燥する際に出てくる(蒸発する)水は、単にC₁₆H₂₂O₁₀の上に乗っかっているだけと考えてください。あえてモデル化すると図4のような状態となります。

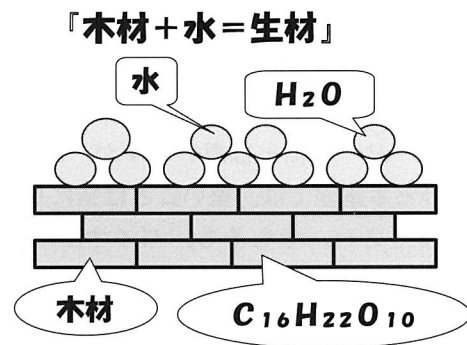


図4 木材とそれに含まれる水のモデル

燃える

住宅が燃える(すなわち火事です)、ペレット燃料が燃える、枯れ草が燃えるなどといいます。この私たちの生活の中で体験する「燃える」という現象について化学的に考えるならば、ある物質が酸素と結びつく反応であり、その結果として、光(炎)と熱が出ることです。酸素と結びつく(反応することから酸化反応の一つでもあります。また、燃えることと「燃焼」は同じ意味であり、化学の教科書では後者を使うようです。最近、「燃焼系」と命名した飲み物も販売されており、読者の皆さんも違和感なく燃焼という単語に馴染めるとしますので、以下においては燃焼を使うことにします。そして、燃焼するときには発生する熱が燃焼熱と

なります。酸素と結びつくものはたくさんあります。例えば水素や炭素も例外ではありません。そして、水素が燃焼すると、HとOが結びついてH₂O、すなわち水ができます。炭素が燃焼するとCO₂、すなわち二酸化炭素ができます。

燃焼とは呼びませんが、鉄などの金属も酸素と仲良くして酸化します。鉄はFeという化学記号で表されますので、酸化すると赤錆(Fe₂O₃)ができます。一般的に、金属の酸化は腐食と呼ばれ、俗に錆びることを意味します。アルミ缶のアルミニウムも腐食します。銅が錆びると緑青が吹くこととなります。でも、鉄やアルミニウムでできている自転車のハンドルが錆びる時に光を見た人や発熱を感じ取った人はいませんよね。この理由は、自転車のハンドルがとてもゆっくりと時間をかけて酸化するからです。酸素と結びつく酸化反応では必ず熱が生じていますが、反応がゆっくりと行われている場合、その発熱を我々が肌で感じる事ができないだけなのです。

木造住宅の床下にキノコが発生して、土台や柱の木材が腐ることがありますが、これも酸化反応です。キノコにより木材が分解され、最終的に木材は水と二酸化炭素になります。光はもちろん発熱も感じられません。これも反応がゆっくりと進むからです。ある程度のスピードで酸化反応が進行しないと、光はもちろん発熱を観察したり感知したりすることができないのです。

木材と木炭に含まれる炭素の比率

木材を燃焼させ、その燃焼熱を暖房や電気に変えることが「エネルギー利用」になります。熱としてのみ利用する場合を「サーマル利用(熱利用)」、熱も利用するけど、発電もする(熱を利用して水を蒸気に変え、タービンを回して発電すること)を「コージェネレーション」と呼んでいます。

また、木材から木炭が作られます。では、木炭は何かからできているのでしょうか。木材から作ったものですから、炭素か、水素か、または酸素からできているのが合理的です。木材を蒸し焼きにしたものが木炭であることから、蒸し焼きの際に新しい物質ができたとお考えの方はいませんか。仮に、木材に含まれる炭素や水素や酸素が蒸し焼き反応により、金(きん)や銀になればいいのですが、そうはなりません。大昔の人が、あらゆるモノを金(きん)に変化させようとし

て化学の実験に励みました。このことを錬金術と呼ぶことを皆さんもご存知と思いますが、自然の法則がそれを許さないのです。なお、木材を原料にして、できあがった木炭を売って金(かね)に変えるのは化学反応ではなく、経済活動です。

木材を蒸し焼きにすると、多くの水素と酸素、そして炭素の一部が出て行きます。炭素の比率で比較すると、乾いた木材の炭素含有率は50%程度(重さの約半分が炭素)ですが、木炭の炭素含有率は86~96%になります(残りの成分は、酸素、水素などです)。なお、木材の炭素含有率の計算は次のように求めることができます。一つの基準として、水素1個の重さを仮に1と置くと、炭素1個は12、酸素1個は16となります。これから、先に述べた木材の最小単位(C₁₆H₂₂O₁₀)の重さは374(12×16個+1×22個+16×10個)となります。炭素の重さは192(12×16個)ですから、この場合の炭素含有率は192÷374に100をかけて51%と算出されます。同様に、水素と酸素の両含有率は6と43%となります。

木炭と木材の燃焼熱の違い

木材を木炭にするメリットとしては、表1に示すように、同じ重さあたりで比較すると木炭の燃焼熱の発熱量が大きいことです。逆に見れば、少ない量で木材と同じ熱を出すことが可能になります。また、木炭と木材の熱の出し方は異なりますが、それは別の機会に解説しましょう。ただ、木炭で焼いた焼き鳥やウナギの味が違うことは皆さんが体験済みと察します。

表1 木材(全乾状態)、木炭、化石燃料の発熱量(kcal/kg)

カラマツ	4,920	木炭	7,000~8,000
トドマツ	4,970	石炭	6,200
エゾマツ	4,840	天然ガス	9,800
ナラ・ブナ	4,700		

参考：灯油 8,900kcal/L

木炭が燃焼する時の発熱量は、その炭素含有率から、ほとんどが炭素の燃焼と考えることができます。これに対して、木材が燃焼する時には、炭素と水素の燃焼により発生します(図5)。表2に炭素と水素の燃焼により生じる発熱量を示しますが、重さあたりでは炭素よりも水素がたくさん熱を出します。炭素の発熱量に木炭の炭素含有率90%程度をかけると、表1の木炭の発熱量にほぼ等しい値となります(例えば、8,100×0.9=7,290kcal/kg)。同様に、木材の発熱量を計算し

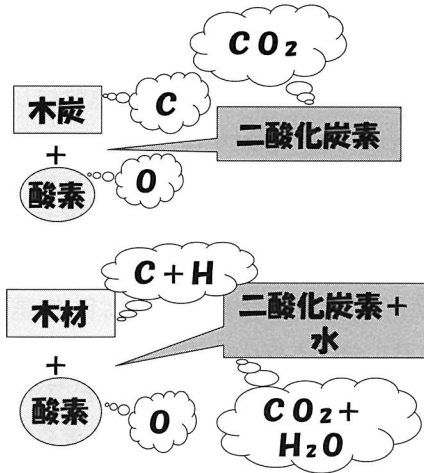


図5 木炭と木材の燃焼反応

表2 炭素と水素の燃焼反応における発熱量(kcal/kg)

炭素	+	酸素	→	二酸化炭素	8,100
水素	+	酸素	→	水	28,570

てみます。炭素含有率51%とすれば、その値は4,131 kcal/kgとなり、表1の木材の発熱量には届きません。そこで、水素含有率6%に注目すると、その発熱量は1,714kcal/kgとなります。ところが実際には、この6%の水素の一部分は木材中の酸素とすでに結びついていますが、その分の新たな酸化反応は生じないと考える必要があります。木材中の水素の半分程度が新たに酸化することができると仮定すれば、この水素の発熱量は1,714×0.5=857kcal/kgと見込まれます。これに先ほどの炭素の値を加えると約5,000kcal/kgとなり、表1の木材の発熱量と良く一致します。

木質ペレット燃料

バイオマス・ニッポン総合戦略では、木材をペレット燃料にすることも提案しています。なぜ、ペレット化が叫ばれているのでしょうか。必ずや合理的な理由があるはずですが。

一つは、薪よりも扱いやすいことがあります。家庭での利用をイメージしてください。今は、灯油という液体燃料を連続的にストーブやボイラーに導いて燃焼させています。薪だとそうはいきません。一晩も薪ストーブを作ることは至難の業です。ところがペレットやおが粉であれば、ホッパーから連続的にストーブなどに落とすことができます。しかし、おが粉ではかさ張るので輸送や貯蔵が非効率です。

もう一つは、水分の問題です。水分を持つ燃料が燃焼する際に、その水分は水蒸気となって煙突から飛んでいく訳ですが、水蒸気になる時に必要な水の蒸発潜熱(539kcal/kg)は、燃焼熱から賄われることになりません。まるで、苦勞して稼いだお金の一部を横取りされる感じですね。燃料に含まれる水分は無駄な出費にも思えます。そこで、木材(例えば水分30~60%)を細かく砕いて乾燥させ、ペレット(水分10~15%)にすることで、この損失分を少なくすることができます。

森林バイオマスの熱利用では、バイオマス(生き物)ならではの水分が邪魔するのです。そこで、森林バイオマスのガス化を考えている人もいます。木材が燃焼しないように注意しながら熱をかけることで分解させて、可燃性のガス(燃える気体、一酸化炭素や水素などの混合物)に変換し、そのガスを燃料に使用するのは。森林バイオマスの直接燃焼を避け、間接燃焼を行う手法と言えます。

おわりに

皆さん、化学が少しだけ身近に感じられるようになった気がしませんか。久々に学生時代を思い出した方もいらっしゃるかも知れませんね。最後のページまでお付き合い下さった方々には、木材が燃焼する際に生じている反応をご理解いただけたと思います。では、1回目の講座の修了試験を始めます。木質ペレットのみを積んだスペースシャトル(ブースターで大気圏を突破した後の話です)が宇宙で自力航行できるのでしょうか。「ペレットはロケット燃料よりも発熱量が少ないはずだから、多分スピードがでないだろうけど航行可能です」とお答えですか... 木材が燃焼する時に何が必要かを再考しましょう。

(つづく)

参考文献

- 1) 河東 準, 岡田 功: “化学工学演習”, 1965年, 産業図書.
- 2) 塩見賢吾: “精講 化学”, 1975年, 学生社.
- 3) 青柳忠克ほか9名編: “化学工学”, 1984年, 実教出版社.
- 4) 原口隆英: “木材の化学”, 1985年, 文永堂.
- 5) 文部省: “林産加工”, 2000年, 実教出版社.
- 6) 小宮山宏, 迫田章義, 松村幸彦: “バイオマス・ニッポン日本再生に向けて”, 2003年, 日刊工業新聞社.