

社団法人ゴルファーの緑化促進協力会

# 環境と人にやさしい ゴルフとゴルフ場

## 第7回 ゴルフ場は油田となるか？

刈り芝からバイオエタノールの生産

岐阜大学応用生物科学部  
教授 高見澤 一裕



## 何故、バイオエタノールか？

石油に代わる代替燃料としてのエタノール生産に関するマスコミ報道が毎日のように行われている。Nature でさえバイオエタノール特集号を出した<sup>1)</sup>。その中で、「最高級のバイオエタノールは飲んで楽しみましょう、それ以外のバイオエタノールは自動車の燃料にしましょう」という標語を作った。

バイオエタノールに注目が集まる理由は、IPCCの2次レポート（1995年）にある。

すなわち、地球環境保全と人類の持続的発展のためにはエネルギー源を石油から代替エネルギーに代えるべきであり、その将来予測では、バイオマス<sup>\*</sup>由来の比率が最も高くなるというものである（図1）。バイオマスからエネルギーを得る方法は物理化学的な方法を含めてたくさんあるが、アルコール発酵は多種類の植物系バイオマスからエネルギーを取り出すことに適しているし、ハンドリングも容易である。そこで、バイオエタノールが注目を浴びることになった。さらに、バイオエタノールは、原料がバイオマスであるためカーボンニュートラルであり、いくら使っても炭酸ガス濃度の上昇はありえない。再生する理想資源と考えられる。そして、IPCCの4次レポート

（2007年）によると、地球の気温が1.1～6.4℃上昇するシナリオが現実である。この地球温暖化の進行もエネルギー源のバイオエタノールへの転換の追い風となっ

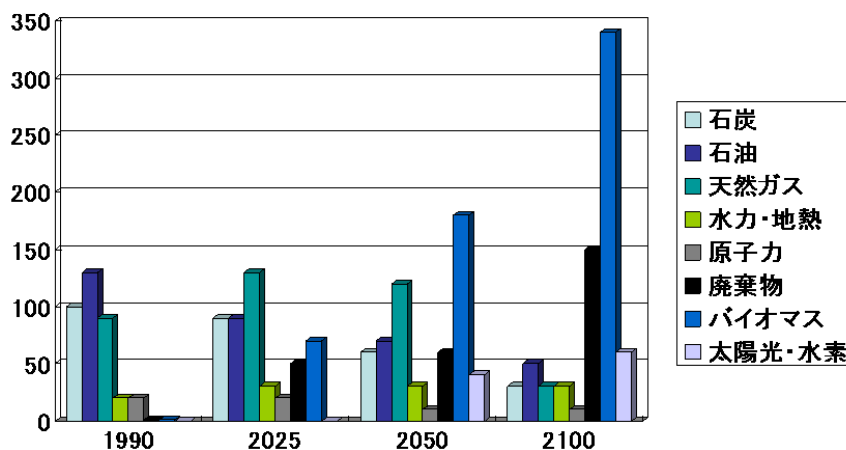


図1 世界のエネルギー供給（1995年IPCC第2次評価報告書のFig5を元に作製）

ている。

現在のバイオエタノール原料はブラジルのサトウキビとアメリカ合衆国のトウモロコシに二分される。いずれも食品であり、特にトウモロコシの食糧、飼料としての需要とエネルギー作物としての需要が競合している。

ヘンリー・フォードは1925年にこんな予言的なことを言っていた<sup>2)</sup>。

「未来の燃料は、その道端のウルシの実やリンゴ、雑草、おがくずなど、ほとんどどんなものからでも得られるだろう。発酵できる植物質にはすべて燃料が含まれているのだ。1ヘクタールの土地で1年間に生産できるジャガイモには、100年間にわたってその土地を耕す機械を動かせるアルコールが含まれている」。

すなわち、燃料としてのバイオエタノールの原料は、植物であればなんでもよい。ここでは、ゴルフ場とバイオエタノールについて考える。刈芝、選定枝・・・ゴルフ場は油田となるか？

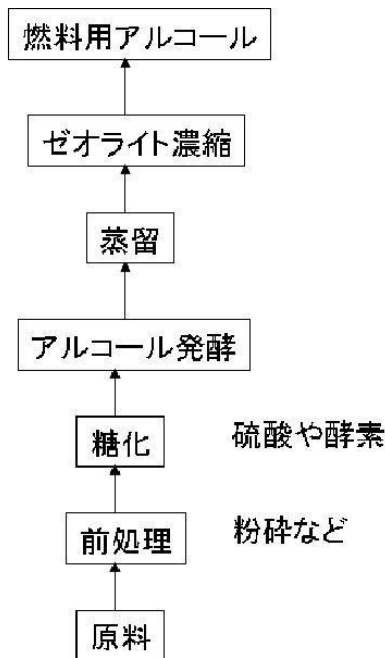


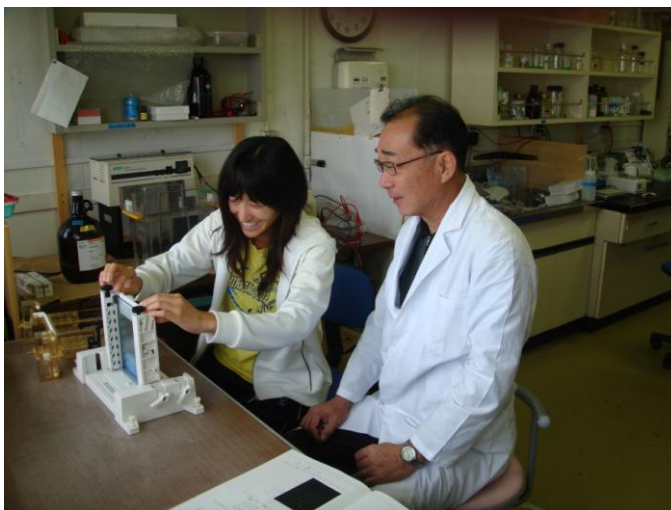
図5 バイオエタノール生産の基本的フロー



## バイオエタノールの作り方

### (1) バイオエタノール源となる原料

バイオエタノールの原料は植物であればなんでもよい。植物の化学構造を大まかに分類すると、穀類のでんぷん、木や植物体のセルロース、ヘミセルロースである。でんぷんは、ブドウ糖重合体で、セルロースは、同じブドウ糖の結合した重合体であるがでんぷんとは結合様式が異なる。ヘミセルロースはキシロース（木糖）の重合体である。砂糖（ショ糖）はブドウ糖と果糖からなる2糖である。なお、第1世代、第2世代と分けて原料を呼ぶこともあり、第1世代がサトウキビやとうもろこし、第2世代がセルロース系といわれる草本植物と木である。



### (2) バイオエタノール製造方法

芝生や選定枝などのセルロース系にしぼって説明する。バイオマスからのバイオエタノ

ール生産の基本的なフローを図2に示す。プロセスは、前処理工程、液化・糖化工程、アルコール発酵、蒸留・濃縮工程に分けられる。前処理工程では、使用するバイオマスの種類に応じて破碎、微粉碎、蒸煮などが必要である。液化・糖化工程では、酸もしくは酵素を用いる。使用する酸は希硫酸ないし濃硫酸である。酸加水分解を併用するならその後の中和装置が必要となる。酵素加水分解は、セルラーゼやキシラナーゼを使うことになる。セルロースは加水分解されて、ブドウ糖となる。ヘミセルロースは加水分解されて、キシロース（木糖）となる。

バイオマスをブドウ糖やキシロースまで糖化すれば次の段階は微生物によるアルコール発酵である。ブドウ糖からのアルコール発酵は、もっぱら酵母サッカロミセス セレビスィーが行う。その反応では、ブドウ糖 100 g からエタノール 51.4 g を生成する。サッカロミセス酵母は、ブドウ糖からエタノールを生産できるが、キシロースからの発酵能力はない。キシロースからのアルコール発酵は、ピキア酵母という別の酵母が行う。キシロース 100 g からエタノール 51.14 g が生成され、発酵効率はブドウ糖の場合と同様である。これらの微生物は逆にブドウ糖の発酵はできないか、アルコール発酵を行ってもその能力は低い。そこで、遺伝子組換え技術を用いて、1種類の微生物にブドウ糖もキシロースもアルコール発酵させる試みが数多くなされており、一部は実用化している。

忘れてならないのは、発酵工程で得られるアルコールの濃縮工程である。アルコール発酵で得られるアルコール濃度はせいぜい数%である。刈り芝からは約3%のアルコール濃度である。これを純度100%の無水エタノールにするため、多段蒸留、ゼオライト濃縮を行う。



## ゴルフ場とバイオエタノール

筆者が試みているゴルフ場から発生する刈り芝をエタノールにする場合を計算する。刈り芝のようなソフトバイオマスは木のようなハードバイオマスに比べて液化・糖化の効率が高くなる。普通の18ホールからなるゴルフ場から発生する刈り芝の年間発生量は約



1200m<sup>3</sup>、600トンである。水分は97%で、乾燥重量あたりブドウ糖30%、キシロース16%が含まれる。液化・糖化効率95%、発酵収率90%、蒸留濃縮効率95%とすると、年間約4トンのエタノールが刈り芝から得られる。これは同様に計算するとガソリン換算で3.4KLになる。ゴルフ場での年間

ガソリン使用量は 6.5~20KL なので 17~50%のガソリンがまかなえることになる。なお、ゴルフ場が刈り芝を廃棄物として委託処理している毎年の費用は 600 万円から 1000 万円といわれており、このコストを刈り芝からエタノール生産へ振り向けると十分経済性は達成する。



## 地球温暖化回復施設としてのゴルフ場

2005 年の世界全体の二酸化炭素排出量は 271 億トンで日本はその 4.5%を占めている。国民 1 人あたりの二酸化炭素排出量は 9.5 トンで、6 番目である。2008 年 7 月の洞爺湖サミットは、G 8 は、2050 年までに世界全体の排出量の少なくとも 50%削減を達成する目標を、UNFCCC のすべての締約国と共有し、採択することを求めることで合意した。日本も公約を果たさなくてはならない。これには政府の政策も大切であるが、個人あるいは企業が自発的に何をするか、そのほうに実効力がある。

さて、アル・ゴア氏はその著書「不都合な真実」<sup>2)</sup> で以下のように述べている。「トウモロコシから製造するエタノールはガソリンに比べて温室効果ガスの排出を 29%減らせる。セルロースから製造するエタノールなら 85%も削減できる。」また、ナショナルジオグラフィック<sup>3)</sup> では「温室効果ガスの生産時と使用時の排出量は、ガソリン 2.44kg/L、セルロース系エタノールは 0.22kg/L とセルロース系すなわちバイオマスから作るエタノールはガソリンに対して温室効果ガス排出量は 91%少ないことになる」としている。

いかにバイオマス利用が地球温暖化抑止に貢献するのかがわかる。さらに、第 2 回本調査研究（月刊ゴルフマネジメント誌 7 月号）にある縣氏の計算によれば、全国のゴルフ場（2400 箇所）は 230 万世帯の消費電力である 110 億キロワットを発電する際に発生する炭酸ガス量 460 万トンを受取る。前述のように 1 箇所からガソリン換算で 3.4KL 生産できるとすると全国では 8160KL となる。これは、2007 年度の全国ガソリン販売量 6000 万 KL の 0.014%である。しかも、温室効果ガス発生量は約 90%削減できる。刈り芝をバイオエタノールへ変換するだけでこれだけ日本国のガソリン消費量を削減でき、かつ炭酸ガス発生量を低減できるのがゴルフ場である。ゴルフ場に新たな付加価値を見出す事ができる。

### 参考文献

1) Nature, 444, 669-678, 2006

2) 不都合な真実 アル・ゴア著、枝廣淳子訳、ランダムハウス講談社、2006

3) ナショナルジオグラフィック日本版 2007 年 10 月号、日経ナショナルジオグラフィック社

注記※ バイオマス (Biomass) : 生物体量、生物量のこと、生物由来の資源を指すこともある