

第2回 燃料電池自動車に至る開発シナリオとバイオ燃料

1. 環境対応車へのパス

固体高分子形燃料電池（PEFC）が世間の注目を集めるようになったのは、これが自動車の動力源として利用できることが実証されたからであろう。燃料電池自動車（FCV）は、1994年に Daimler-Chrysler 社によって、世界で初めて試作された。これはその後続いた Daimler-Chrysler 社による NECAR シリーズの端緒として NECAR-1 と称されたが、この試作車のラゲッジルームが重量800kgの燃料電池パワーユニットによってほとんど占拠された状態であり、実用車としての体裁を備えるものではなかった。実用車としての先鞭は、同社が1996年に試作した NECAR-2 に求めるべきであろう。NECAR-2 は水素ポンペを屋上に積み、Ballard 製PEFCを搭載して、6名の乗員スペースを確保して走行実験に成功した。この頃から世界の主要な自動車メーカーによってFCVが試作され、その成果が大きく報道されるようになった。

わが国では1996年にトヨタ自動車が水素吸蔵合金を使ったFCV“トヨタFCEV”を発表、御堂筋で運行パレードを行ったのが、FCV開発における最初の注目すべきイベントであった。今世紀に入ると、2002年にはトヨタ自動車とホンダが製作したそれぞれのFCVを官庁にリース販売で納車し、この納車式には当時の小泉首相が出席した。そして、2002年には経済産業省による燃料電池自動車実証研究およびFCV用水素供給設備実証研究を目的とするJHFCプロジェクトが4年間の計画としてスタートすることになった。この頃は、わが国を含めて世界各国において、FCVの実用化に対する期待感が高揚し、PEFCに対する関心が一挙に膨らんだ一時期であったと思う。

しかし、近年FCVの実用化に対しては、それが高価格であること、そして激しい負荷変動条件下での耐久性、更に水素インフラの普及に関する課題が認識されるようになり、FCVの商用化と普及は少なくとも2020年に以後であろうと考えられている。

FCVは究極の環境対応自動車とも云われているが、早急に地球温暖化の問題に対処するためには、又京都議定書での公約を実現するためにも、低公害車へのイノベーションシナリオが準備されなければならない。このシナリオにおいて最も期待されているのが、1つはバイオエタノールやバイオディーゼル油などバイオ燃料の導入であり、第2は家庭や事務所、あるいは燃料供給施設において充電が可能なプラグインハイブリッド車（PHEV）の導入である。PHEVは現在のハイブリッド車に比べると、ガソリンエンジンよりは、電気エネルギーの利用により大きな比重をかけるという構想であり、そのためには蓄電池の高性能化が最も中心的な技術的課題である。したがって、この技術が進歩すれば、電気自動車（EV）の実用化へ道を開くことになる。本稿では、紙面の制限もあるので、前者のバイオ燃料に焦点を当てて、その問題点についての議論を展開したいと思う。

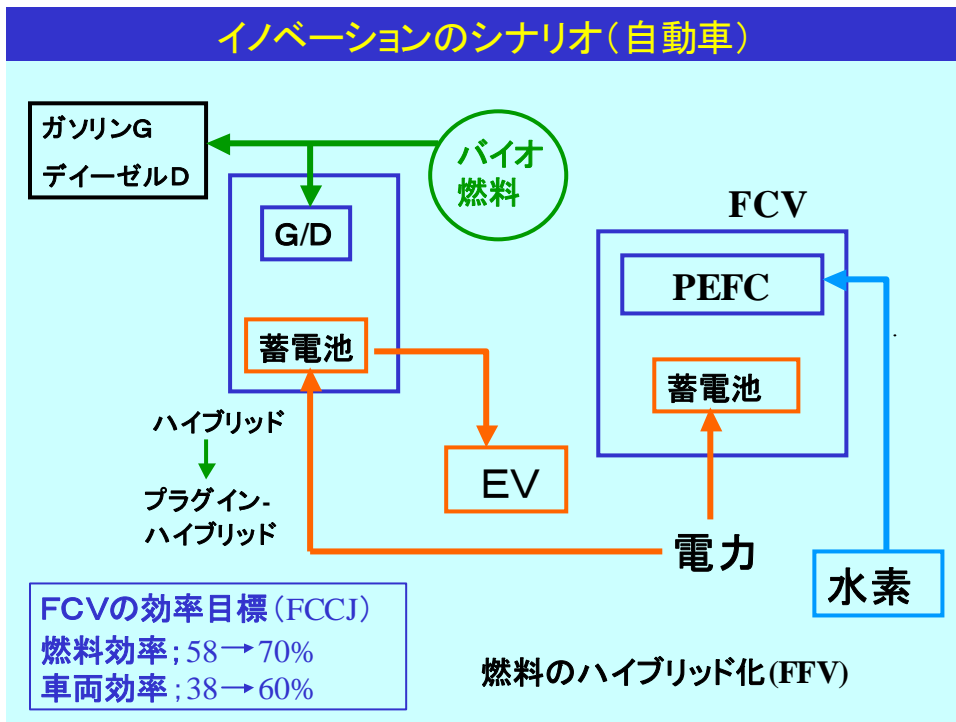


図1 環境対応車のイノベーションシナリオ

2. バイオマス燃料とは

植物由来の燃料であるバイオエタノールやバイオディーゼル油は、原料である植物が空気中のCO₂を吸収するという特性によって、再生可能エネルギーの1つとみなされている。温暖化対策を議論するための国際的パネルである IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)は、「バイオマスを燃焼させてもCO₂排出として加算されない」と明示しているのを受けて、CO₂削減対策の1つとしてバイオマスをエネルギー資源として利用しようとする施策が各国で採用されるようになった。

2.1 バイオエタノール

(1) エタノール製造プロセス

エタノールは炭素数2の脂肪族アルコール(CH₃CH₂OH)で、単にアルコールとも呼ばれ、酒の成分であるため酒精とも云われている。エタノールの原料となるバイオマスには、先ず糖質系、デンプン質系、およびセルロース系の3種類に分けられる。ここでセルロース系バイオマスとは、植物の細胞壁の主成分である多糖類のセルロースを含むバイオマスの総称である。セルロースは地球上で最も量の大きいバイオマスであり、木質系バイオマス、草本系バイオマスなど細胞壁を持つあらゆる植物のみならず、これらから派生した農林業残さや産業残さも含まれる。これは現在特にわが国においてその利用が最も注目されているバイオマスであるが、この議論については別の機会に譲ることにしたい。

糖質原料とは、例えばグルコース(ブドウ糖)、フルクトース(果糖)、シュクロース(蔗

糖)を主成分として含むケーン(サトウキビ)やビート(テンサイ)の搾汁などで、製糖産業の副産物である糖蜜もエタノール醗酵の原料として多量に用いられている。デンプン質はグルコースの高分子であり、トウモロコシ、小麦、ライ麦、サツマイモ(甘藷)、タピオカなどが主要な醗酵原料として使われている。

バイオエタノールの生産方法は、原料がデンプン質か糖質かによって異なるが、基本的には酒類の製造プロセスと同じである。ただエタノール製造工程では、最終段階の蒸留工程によって濃度が95%以上(無水エタノールでは99%)になるまで蒸留される点が異なっている。

バイオエタノールの原料が、サトウキビのように糖質であれば、粉碎して得られた糖にそのまま酵母を加えて醗酵させればよい。しかし、トウモロコシのようにデンプン質の場合には、糖がデンプンに格納されているため、デンプンを糖化酵素で糖に変換した後に酵母を加えて醗酵させる必要があり、したがって、糖質原料の方が、糖化プロセスに投入されるエネルギー量が不要になるだけ、デンプン質原料に比べてエネルギー産出投入比(投入されるエネルギー量に対する産出されるエネルギー量の比)は高くなる。更にサトウキビを原料とするエタノール製造プロセスでは、最初の原料粉碎時に副生されるバガス(絞りかす)がボイラー用燃料として利用できるため、加熱など工程に必要な化石燃料の消費を節約することが可能となる。これに対して、デンプン質を対象とする場合には、茎などが飼料として利用されるが、特にエネルギー源として寄与する副生物は存在しない。事実エタノール製造におけるエネルギー産出投入比は、ブラジルのサトウキビを原料とする場合は8ないし9であるが、アメリカのトウモロコシでは1.25のような低い数値が示されている。

図2 農産物からのエタノール製造工程

(2) 自動車用燃料としての性状

バイオエタノールは、水素と異なって常温で液体であることから貯蔵や輸送が容易であり、メタノールのように毒性がない。又ガソリンとの混合液体(ガソホール)として使える点において自動車用燃料としては極めて適しており、古くから世界各国で使用されている。自動車用燃料として注目されているエタノールの性状や性能をガソリンのそれと比較してみよう。まず燃料の発熱量では、ガソリンが44.37MJ/kgであるのに対して、エタノールのそれは26.79MJ/kgであり、発熱量(heating value)で比較する限り、エタノールはガソリンの60%で、エタノールは圧倒的に不利であるように思われる。しかし、分子式から分かるように、エタノールには酸素原子が含まれており、含酸素燃料(oxygen-containing fuel)と称されている。

燃料の持つ化学エネルギーを動力エネルギーとして変換するためには、燃料電池のような電気化学的反応によらない限り、まず燃料を直接空気と混合して燃焼させ、化学エネル

ギーを熱に変換する必要がある。燃焼において燃料の単位重量 1 kg 当りに必要な空気量、すなわち理論空燃比(theoretical air fuel ratio)は、ガソリンが 15.1 であるのに対してエタノールは 9.0 である。すなわちガソリンは含酸素燃料ではないために、ガソリンを燃焼させるためには、エタノールに比べて 60%以上多量の空気を必要とする。したがって、燃料と空気を含めた混合気の 1 m³ 当りの発熱量で両者を比較すると、ガソリンが 3.55 MJ であるのに対して、エタノールは 3.53 MJ となり、両者はほとんど同等になる。すなわち、同一容積のエンジンで両者を比較すれば、ほぼ同等の出力が得られることになる。

含酸素燃料であるエタノールは、燃焼時にススを出さない、CO発生量が少ない(ガソリンに対して20%低下)、耐ノッキング性の指標であるオクタン価が高く、そのためエンジンの圧縮比を高くして熱効率を向上させることができるなどの長所を持っている。又エタノールの火炎温度がガソリンのそれよりも低いことは、熱損失に対してエタノールの方が有利であることを意味する。しかし、気化潜熱で比較すると、ガソリンが 272 kJ/kg であるのに対してエタノールのそれは 862 kJ/kg で大きいので、エタノールは気化しにくく、それだけ低温での始動性が劣ることになる。

2.2 バイオディーゼル

菜種油、ひまわり油、大豆油、パーム油などの植物油を、メタノール(あるいはエタノール)でエステル化(esterification)したものはバイディーゼル(biodiesel 又は biodiesel fuel)と称され、ディーゼル油の代替として用いられている。ここでエステルとは、アルコールと酸とから脱水によって生成される化合物、およびこれに相当する化合物を指し、酸(主にカルボン酸)とアルコールを反応させてエステルに変えることをエステル化という。

純粋の植物油は粘度が高く(通常ディーゼル燃料軽油の1.1~1.7倍)、セタン価が低いので、現在の高速ディーゼルエンジンに直接用いることは難しい。現在使われている高速ディーゼルエンジンでは、数ミリ秒間に燃焼室内の燃料を完全燃焼させなくてはならないので、燃料を高圧噴射したときに超微粒子になるよう粘度が低くなっていなければならない。すなわち、植物油を直接エンジンに使うと、カーボンが付着累積し、又潤滑油の劣化をきたすため、メチルエステル化することによって粘度を下げ、セタン価(cetane number)を上げる(発火性を良くする)方策が一般的に採られている。

現在EUを中心に、年間130万klのバイディーゼル燃料が生産され、利用されている。他方、パーム油は熱帯の主要な植物油であり、今後熱帯における発展途上国でのバイオディーゼル原料として期待されている。

3. バイオ燃料利用の現状と問題点

ブラジルにおけるエタノール利用の歴史は古く、既に1931年にその利用を促進するための推進政策が施行された。ブラジルでの市販ガソリンは、ガソリンにエタノールを混入したガソールであり、日本で使われているガソリンは市場に流通しているわけではない。

アメリカにおいては、1970年代に石油ショックを契機としてトウモロコシなど余剰農産

物から生産されるエタノールをガソリン代替として利用しようとする運動がスタートし、1978年にはガソリンE10（数字はエタノールの混合体積濃度を意味する）に対して連邦消費税免除措置が施行された。

わが国では2002年7月、バイオマス・ニッポン総合戦略が閣議決定され、特に2006年3月には新たな戦略としてバイオマスから輸送用液体燃料の本格的な導入が閣議決定された。又2003年に「揮発油等の品質の確保等に関する法律（品確法）」の改正で、ガソリンに対するエタノール混合濃度は3%（E3）までと決められ、品質法で認められたバイオエタノール3%を混入したガソリンの試験販売が、4月27日首都圏のガソリンスタンド計50ヶ所で始まった。しかし、これはガソリンに直接エタノールを混入したE3方式ではなく、バイオエタノールを加工した石油製品ETBE（Ethyl Tertiary Butyl Ether）を混入したものである。農水省や環境省が推進するE3方式を採用しなかった理由について、石油連盟では「エタノールは水に溶けやすく、水滴などによってガソリンに水分が混ざると蒸気圧などによって走行中にトラブルが発生することにもなりかねない」（山浦専務理事）と述べている。

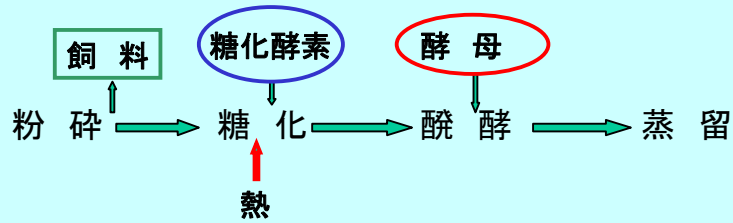
勿論バイオ燃料の導入に関して問題や批判がないわけではない。その第1はトウモロコシ等食料資源をベースとする自動車燃料の大量生産は、世界全体において食料不足と価格の高騰をもたらすという指摘であり、将来は水資源の不足を招来する可能性さえあると指摘されている。第2にはバイオ燃料自身は再生可能エネルギーであり、既に述べたように、原理的には地球環境に対して負荷を与えないとされているが、現実には農業や工業生産、輸送等において化石燃料をベースとするエネルギー資源が投入されており、これらを勘案したLCA評価がなされなければならないという主張である。これらについては別の機会に議論したいと思っている。

参考文献

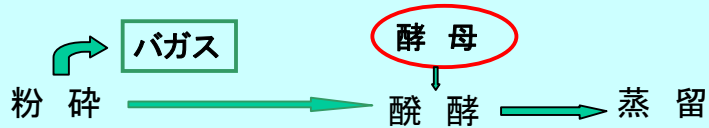
- 1) 大聖泰弘/三井物産編：バイオエタノール最前線、第1章、pp12-20、工業調査会(2006)
- 2) 木谷 収：バイオマス、p75-79、コロナ社(2005)、
- 3) 日本エネルギー学会編“バイオマス用語辞典”（オーム社）p337、
- 4) July 2007 WEDGE、p13
- 5) 稲田大介：燃料用バイオエタノールの普及対策と新規製造技術、2006・11 OHM、p43

図2 農作物からのエタノール製造工程

デンプン質原料;トーマロコシ・小麦・サツマイモなど



糖質原料;サトウキビ、テンサイなど



出展:大聖他、バイオエタノール最前線、工業調査会 p20