

空気を原料とした化学は実現するか

主席研究員 松村 晴雄

1. 大気中の窒素ガスを原料としたアンモニア生産の進化

現在の 69 億人という人口を支えることができている要因の一つは、大気中の窒素ガスを原料とした窒素肥料の生産である。窒素肥料が植物の生育に有用であることがわかり、農業に利用されるようになった初期には、南米の孤島にある野鳥の糞であるグアノが採取された。やがてグアノが枯渇するにつれ、次にはチリ硝石が発見されて利用された。しかし、これらの天然資源がいよいよ枯渇する可能性が出てきたことを受けて、ドイツの科学者であるハーバーと企業の技術者であるボッシュによって大気中の窒素ガスを原料として窒素肥料の原料であるアンモニアの合成技術が開発された。

現在でも、窒素肥料の原料であるアンモニアはハーバー・ボッシュ法やその改良方法で作られているが、これらの方法は高温、高圧という過酷な条件を必要としていた。これに対して、2010年12月に東京大学の西林準教授らのグループは常温常圧で窒素ガスをアンモニアに変換する技術を開発したと発表した。窒素分子架橋二核モリブデン錯体という触媒を開発したことと、窒素還元剤として比較的安価なコバルトセンなどを用いたことが成功の要因であったと説明されている。



ティーブレイク

旭化成の創業の地である宮崎県延岡市には、経済産業省近代産業遺産に登録されている「カザレー式アンモニア合成塔」がある。これは大正 12 年に創業者の野口遵がイタリアで買った特許に基づいて国内で初めて生産したものである。このアンモニア生産は、日本の化学工業発展の先駆けとなったばかりでなく、カザレー式アンモニア合成法を、イタリアよりも早く、世界で初めて実用化したものである。試運転にはカザレー自身が立ち会ったという。なお、カザレー式は、アンモニアを除いたガスを循環させることによって触媒寿命を延ばすことに成功したハーバー・ボッシュ法の改良法である。

2. メタノールを出発物質とした化学が始まっている

2011年1月、中国石化は年産170万トンのメタノールを石炭から作り、プラスチック原料であるオレフィンを生産する計画を発表した。約3,000億円をかけて安徽省に生産設備を建設する。3年後の竣工を目指している。中国石化は09年に山西省と河南省にそれぞれ180万トンのメタノール生産設備を建設する計画を発表していた。一方ダウケミカルも09年11月に中国企業と合併で石炭からメタノールを作り、年産120万トンのオレフィンに転換する計画を発表している。

日本の石油化学プラントの規模は約30万トンであり、中国に180万トン規模の設備が何カ所も建設されることは大変な脅威でもある。

石炭をガス化してメタノールを作る方法は第2次世界大戦中にドイツが実用化していた古い技術である。その後、原油が低価格で入手できるようになったために、南アフリカなどの限られた国で使われる程度となっていた。しかし、中国では原油輸入の海外依存度が上昇してきたことに加

えて、近年の原油価格の高騰、乱高下の影響を受け、国内で豊富に産出される石炭が見直され、大規模な設備投資が行われるようになった。

ただし、石炭からのメタノール生産は、多量の CO₂を排出するという側面を持つことから、地球温暖化抑制の観点からは好ましいものではない。石油を輸入している他の新興国でも石炭からメタノールを生産する動きが広がることに関しては、むしろ制限する必要があるかもしれない。

3. メタノール経済社会と水素経済社会

2010年7月に「メタノールエコノミー CO₂をエネルギーに変える逆転の発想」(G.A.オラーら著、小林四郎ら訳、化学同人)が発刊された。この本では、現在の地球温暖化の主要な原因物質である CO₂の発生源が主に自動車であり、ガソリンであるとし、ガソリンの代替が最も重要な課題であるとしている。上記中国のメタノール生産は化学品の生産を目的としており、ここで言うメタノールエコノミーの一部である。

自動車が CO₂の主要な発生源であることは広く認識されており、その対策として、少し前は水素ガスを燃料とする水素経済社会が注目され、最近では電気自動車が大きく取り上げられている。しかし、水素ガスは、水素ガスを作るために莫大なエネルギーを要することと、単位重要当たりのエネルギー密度が低いいため、ガソリン自動車と同等の航続距離を達成するためには、例えば700気圧という高圧のガスタンクを使う必要がある。ちなみに世界で最も深いマリアナ海溝(水深1万メートル)の水圧は1,000気圧である。さらに、水素ステーションを新たに整備するために莫大な費用がかかる。従って、水素経済社会の実現には多大な困難が予想される。これに対して、従来のガソリンのインフラが利用できるメタノール経済社会という提案は、耳を傾ける価値のあるものである。

4. 電気自動車とバイオエタノールの問題点

電気自動車は走行時には CO₂を出さない。さらには原油1ℓを走行に使える効率がガソリン自動車よりも良いといわれている(Well to Wheelの効率。図1参照)。

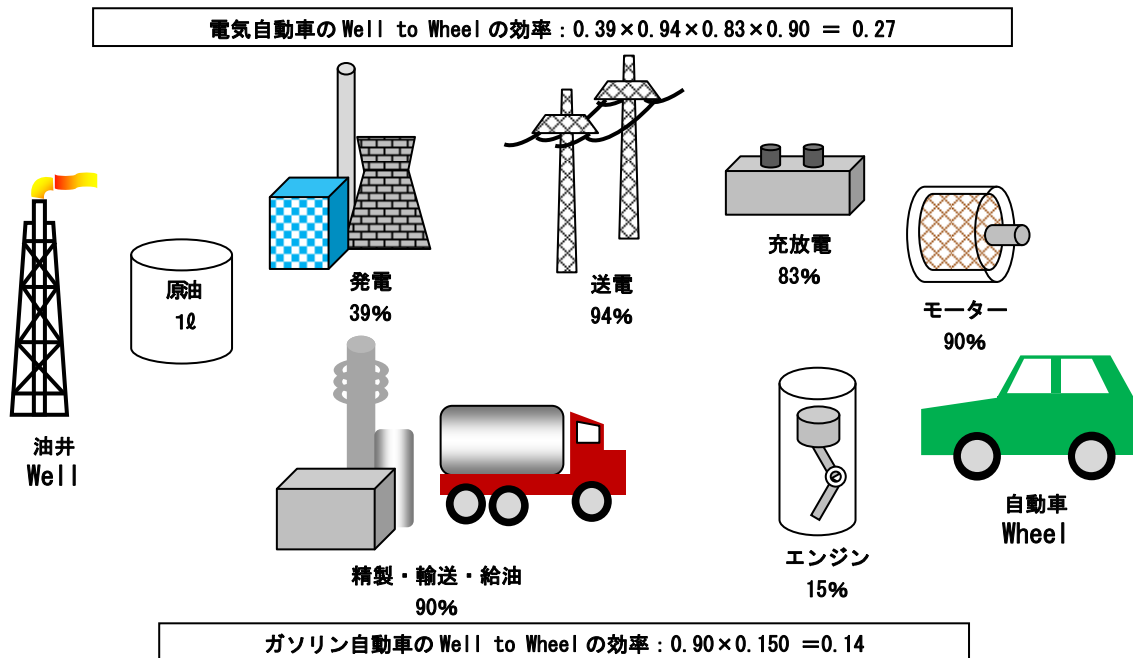
しかし、電気を貯蔵するためには、最も効率のよいリチウムイオン電池でさえ、重量当たりのエネルギー密度がガソリンの130分の1である。ガソリンから取り出せる運動エネルギーは30%しかないことを差し引いても、電気自動車の走行に使える重量当たりのエネルギーはガソリン自動車の40分の1であり、一人で電気自動車を運転することは、実は重い電池を運んでいるだけということになりかねない(図2参照)。

また、電気自動車の利点として安価な深夜電力の利用が挙げられているが、これは出力を調整しにくい原子力発電を有効に働かせるために、現在利用率の少ない電力としてやむなく安価にしているのであって、深夜電力利用者の増化によっては状況が大きく変わるかもしれない。

ガソリンの代替として少し前に注目されていたものにバイオエタノールがある。これも、実は米国の試算によると、世界で温暖化対策として効果のあるのはブラジルにおけるサトウキビおよびその廃液からのエタノール生産に限定されることが明らかとなった。米国のトウモロコシを原料としたエタノール生産は地球温暖化の観点からの評価では、肥料などの経費、バイオマスの収集の経費などからの評価の結果、ガソリンと同等かむしろ多くの CO₂を排出してしまう。食糧あるいは飼料であるトウモロコシを原料にすることの是非の倫理的な問いかけの前に、すでに無理が

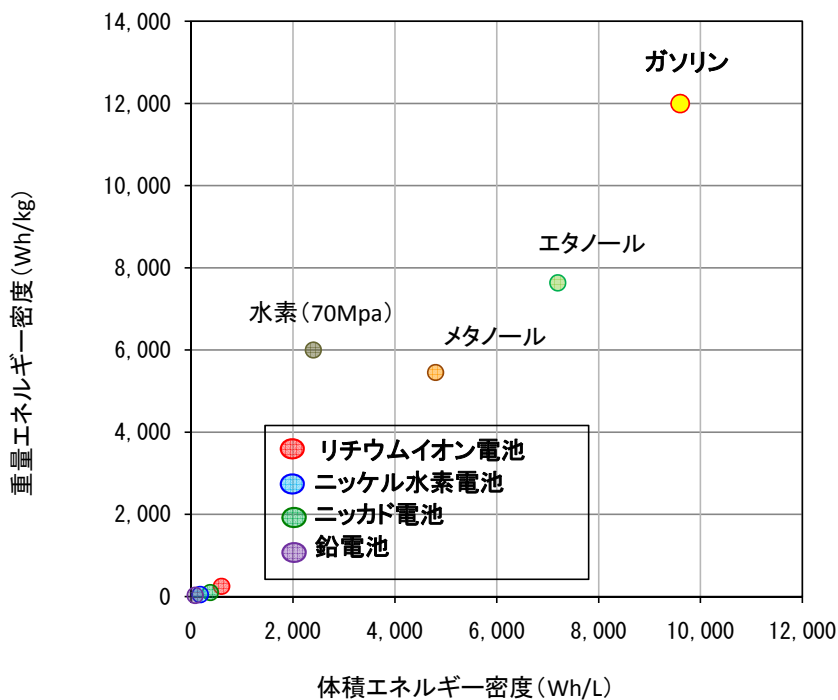
あったと言える。

さらに、ブラジルにおいても、現在の生産量であれば、環境への影響はあまり心配する必要がないが、増産するとなれば、森林伐採による負の影響が上回るといわれている。また、世界のガソリン消費量とバイオエタノールの生産可能能力は桁がいくつも違っており、そもそもバイオエタノールでこの必要量を賄うことはできない(図3参照)。



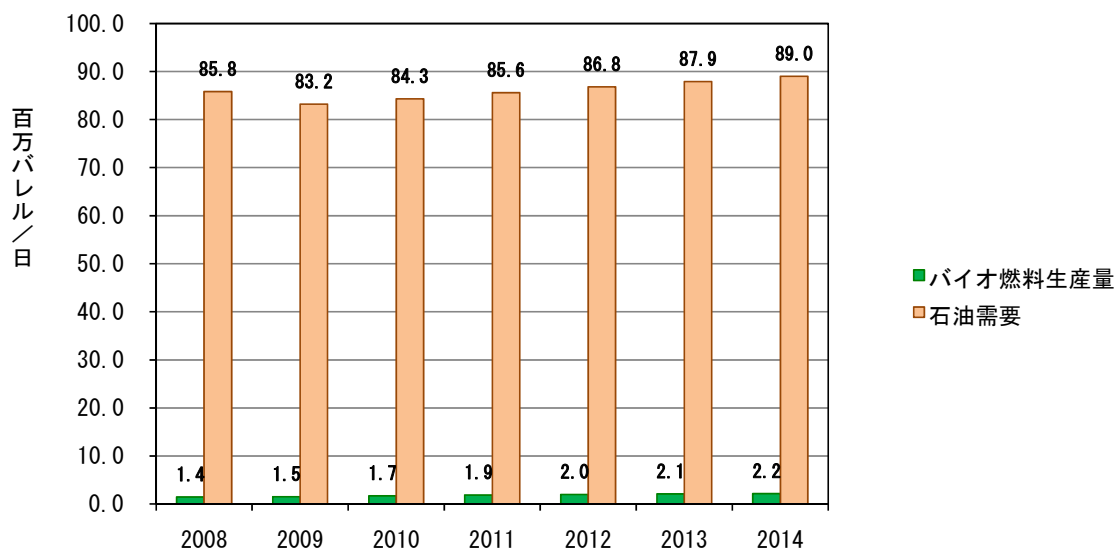
資料: 国立環境研究所 <http://www.nies.go.jp/kanko/kankyogi/11/10-11.html> をもとに ARC 作成

図1 電気自動車とガソリン自動車の Well to Wheel の効率の比較



資料: IEA「Transport, Energy and CO₂(2009)」をもとに ARC 作成

図2 ガソリンなどと電池のエネルギー密度の比較



資料:IEA「Medium-Term Oil Market Report (2009)」をもとに ARC 作成

図3 世界のバイオ燃料生産と石油需要

5. メタノール経済社会が実現するまでの対策

従って、当面はガソリンを大事に使う、すなわちハイブリッド車に転換することである。そして、時間を稼いでいる間に、将来に向けて、ガソリンに代わる液体燃料を開発することが現実的な解なのである。メタノールは、エネルギー密度などから考えてガソリンを代替できる候補の一つである。他には、ジメチルエーテルなどがある。

先にみたように、中国では石炭からメタノールを生産する大規模な計画が発表されている。しかし、石炭からのこれらの液体燃料の生産は CO₂ 排出量から見て論外である。当面は石炭からよりも CO₂ 排出量の少ない天然ガスを原料とした生産が考えられる。

近年、米国ではシェールガスという、従来の天然ガスとは異なる天然ガスの利用が注目されている。シェールガスは、頁岩という岩石層に存在する天然ガスである。古くからその存在は知られていたが、経済的に採取する方法がないため利用されていなかった。近年、米国で新しい採掘技術が開発され、供給量が急増している。2020 年までに米国の天然ガス生産量の 50%がシェールガスになるという予測もあり、「シェールガス革命」という言葉も生まれている。すでに米国の天然ガスの価格が下がっており、こうした天然ガスを用いたメタノール生産の可能性が出てきている。しかし、天然ガスを原料とすることで、CO₂ の排出量を抑制することはできても地球規模での経済成長に伴い、大気中の CO₂ 濃度は増加していく。そこで、近い将来としては煙突からの CO₂ を原料とし、もう少し先には大気中の CO₂ を原料としたメタノール生産を考える必要がある。

6. CO₂ を原料としたメタノール生産技術の技術が進みだした

三井化学は、08 年から CO₂ を原料としたメタノール生産のパイロットプラントを使った実証試験を行ってきた。工場から排出される CO₂ を原料とするもので、10 年4月には実用化の目処が立ったとして商業化への検討を開始した。

排ガスの CO₂ を原料とするためには、CO₂ を効率的に分離回収する必要がある。この技術については、10 年 11 月に JFE エンジニアリングは、製鉄所などの排ガスから CO₂ を従来の半分のコストで回収する技術を開発したと発表した。

また、CO₂ を原料としてメタノールを生産するためには水素が必要である。現在は、水素は化石燃料から生産されているが、10 年 11 月に東京大学と三菱化学が光触媒を用いて水素を生産する技術を開発したと発表した。人工光合成とも言える技術であり、CO₂ を発生することなく水素を生産できる。

CO₂ を原料としたメタノール生産に関しては、日本には、いわゆる C1 化学の苦い経験がある。経済的に成り立たせるためには、上に紹介した個々の技術をさらに深めるとともに、トータルシステムとしての完成を目指す必要がある。三井化学の例も、必要とされる水素は、将来は光触媒で製造することを想定しているが、東京大学の技術がそこに活かされるかどうかはわからない。



==== コーヒーブレイク =====

炭酸ソーダは石鹼やガラスの製造に欠かせない物質である。ソーダ灰という言葉があるように植物を燃やした灰から製造されていた。産業革命以後、ソーダの需要が増加するのに対して植物資源はむしろ枯渇するようになった。そこで、1783 年にフランスのルイ 16 世は、莫大な量の海水からとれる塩化ナトリウムを原料としてソーダを製造する方法に懸賞金をかけた。これに応じたのが、貴族の主治医であったルブランである。ルブランは、1791 年に製法を発明するとともに工場を建設した。しかし、1793 年に国王を処刑して急進的になったフランス革命政府は、貴族の資産とともに工場を没収し、賞金の支払いも拒んだ。また特許が無効とされたために、1801 年に工場が返還されたときには、他のソーダ工場が製造販売をしており、再度参入する余地は残っていなかった。こうした状況のもと 1806 年にルブランは自殺した。

ルブランの悲劇は、フランス革命という時期にたまたま重なったということがあるかもしれないが、CO₂ を原料としたメタノール生産に懸賞金をつけてもよいかもしれない。

7. 大気中の CO₂ や窒素ガスを原料とした化学は実現するか

地球温暖化の主要な原因物質である CO₂ の排出量をこれ以上増加させないためには、自動車などの液体燃料の使用量をゼロにするか、炭素から見た液体燃料のリサイクルを実現することが重要である。この候補物質の一つがメタノールである。現在は、液体燃料ではなく、化学品を作る目的で CO₂ を原料としたメタノールの生産技術が開発されてきている。どこまでコストを下げるができるか、まだ、未知数であるが、着実に技術が揃いつつある。

窒素ガスについても、環境によりやさしい形で固定化する技術が開発される可能性が出てきている。

メタノールなどの液体化合物によって石油の代替がなされ、現在のインフラを活かした形での温暖化対策が実現されることが期待される。まずは、天然ガスを利用し、次には煙突からの排ガスを原料とし、究極的には、大気中に拡散してしまった CO₂ を回収して利用することができるようになれば理想的である。だれか 21 世紀のルイ 16 世になってもらえないだろうか。

(2011.2.24)