

# 資源を変換する触媒をつくる： エネルギー・環境問題の同時解決を目指して

富重圭一 数理物質科学研究科物性・分子工学専攻准教授  
(とみしげ けいいち／触媒化学)

環境問題といえば、以前は地域の問題であり、エネルギーの問題とは独立したものであった。これに対して、近年の地球温暖化問題は、その原因物質である二酸化炭素が化石資源のエネルギー利用に由来することが明らかとなり、エネルギー問題と環境問題は強く関連した問題となった。

現在、私たちの周りには、電気やガソリンなどエネルギーの媒介となっているものがあるが、これらは一次エネルギー資源が変換されたものである。例えば、電気は、石炭や天然ガスを燃焼し、火力発電というエネルギー変換プロセスにより生み出され、ガソリンは原油を物質変換・化学変換するプロセスにより作り出されたものである。

ここでは、ガソリンやディーゼル燃料といった輸送用燃料について、エネルギー・環境問題の同時解決を目指したプロジェクトを紹介する。

## 1. 化石資源の利用とGTL

図1に天然ガス、石油、石炭のような化石

資源の現在の主たる利用法を示す。石油はよく知られているように、量的には天然ガスや石炭と比較して少ないため、資源の枯渇が懸念されている。そのため、天然ガスを液体燃料へと変換し、石油を代替する資源として利用するものである。

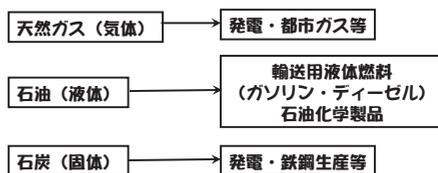


図1 化石資源とその利用

天然ガスからの液体燃料合成 (Gas to Liquidを略してGTLプロセスと呼ばれている) のスキームを図2に示す。天然ガスの主成分はメタン ( $\text{CH}_4$ ) であり、メタンと水、酸素などを反応させることにより一酸化炭素と水素の混合ガスである合成ガスをまず製造する。この合成ガスはフィッシャー・トロプシュ合成反応により、炭素—炭素結合を持った炭化水素へと変換される。一酸化炭素は不完全燃焼の際に生成する有毒な物

質と考える方も多いと思うが、きちんと使えば非常に有用性の高い化学原料である。

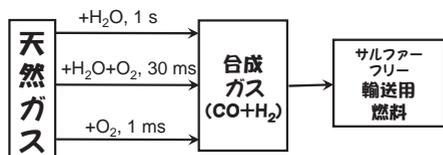


図2 GTLプロセスの概要

## 2. 天然ガスを合成ガスへ

このプロセスにおいて、私が研究対象としているのは、メタンから合成ガスを製造する高速・高効率変換を可能にする触媒の開発である。メタンからの合成ガス製造は、これまでメタンの水蒸気改質という方法で行われており、メタンと水蒸気の反応を利用したものである。図2に示したように、この反応は、接触時間として、1秒程度が必要とされている。接触時間とは、正に触媒と反応ガスが接触している時間である。これに対して、メタンと酸素と水蒸気から合成ガス製造するための触媒開発を行っている。この触媒を用いることにより接触時間を30ミリ秒程度まで短くすることに成功した。ここで開発した触媒は、極微量の白金やパラジウムで表面修飾したニッケル金属微粒子を活性種とするものであり、「その場熱供給型改質触媒」と名づけた。これは、新エネルギー・産業技術総合開発機構の産業技術研究助成 (H17-20) により支援を受けたプ

ロジェクト研究の成果である。1秒が30ミリ秒になるだけでも、相当に接触時間が短くなったが、さらにもう一段階短くするための触媒開発研究も行ってきた。これは、ロジウムという金属を活性種とした開発触媒を用いて接触時間を1ミリ秒以下まで短縮することに成功した。これは、水蒸気を用いることなく、メタンと酸素を直接反応させる接触部分酸化法である。この方法は、「究極の合成ガス製造法」とされているものである。本研究は、石油天然ガス・金属鉱物資源機構の支援を受け (H14-H19)、千代田化工建設と共同で開発を進めているものである。

## 3. 超高速変換

触媒反応を用いた製造プロセスにおいては、短接触時間は、高速・超高速変換できたことに相当する。これは実用プラントにおいては、生産量を一定とすれば、触媒反応装置が極めて小さくてよいことになり、装置のサイズを一定とした場合は、極めて大きな生産量を得ることができるのである。これは、プラントのコストを下げるというメリットをもっている。詳細は、ここでは触れないが、ここで紹介した方法は、従来の方法と比較して変換のエネルギー効率も高いことが確認されており、省エネルギー効果とコスト削減効果を持つ。

#### 4. 環境調和型液体燃料

さらに重要なこととして、GTLプロセスにより合成された輸送用燃料は、大気汚染の原因物質となる硫黄分を全く含まないサルファーフリーな特性を持っているため、環境負荷も低いとされる。これは、原油中に含まれる硫黄化合物より、天然ガス中の硫黄化合物の方が、圧倒的に除去が容易であるためである。このような新しい合成ガス製造プロセスを導入したGTLプロセスは、天然ガスを石油代替資源とし、環境負荷の低いガソリンやディーゼル燃料を供給することが期待されている。

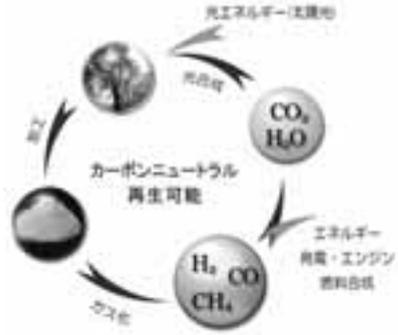


図3 バイオマスのエネルギー利用

そのため、バイオマスから合成ガスを製造し、上に述べてきたと同様な方法でクリーンな液体燃料へと変換することも可能である。このプロセスはBTL (Biomass to Liquid) と呼ばれている (図4)。

#### 5. バイオマスとBTL

合成ガスは天然ガスばかりでなく、バイオマスからも製造することができる。バイオマスとは、動植物に由来する有機物であってエネルギー源として利用することができるものと定義されている。バイオマスをエネルギー利用した際、そこから排出される二酸化炭素は、化石資源の場合と異なり、大気中の二酸化炭素濃度増加に寄与しない。これを「カーボンニュートラル」と呼ぶ。バイオマスのエネルギー利用から排出される二酸化炭素は光合成により数年から数十年後にはバイオマスへと再生されるため、再生可能資源として位置づけられる (図3)。

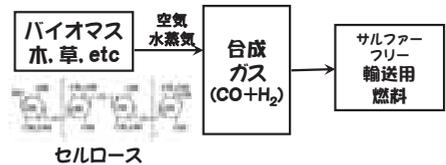


図4 BTLプロセスの概要

バイオマスには極めて多種多様なものが含まれるが、最近では食料をエネルギー利用することの問題点が指摘されている。私たちがこのことを考慮して、原料とするバイオマスとしてセルロース系、木質系のものを中心に触媒開発を行ってきた。バイオマスを合成ガスへと変換する方法をガス化と呼ぶ。天然ガスの変換では触媒の機能として高速変換に重点が置かれているが、バイ

オマスガス化においては、反応温度の低温化が期待される。

## 6. バイオマス変換触媒

バイオマスガス化はこれまで触媒を用いず、極めて高い温度（1000℃以上）で行われてきた。これは、液体や固体の副生を抑制するためであるが、高温を維持するエネルギーが必要となるため、全体としてのエネルギー変換効率はそのほど高くない。これに対して、触媒を用いて反応温度を下げることであれば、エネルギー効率を顕著に向上することが可能になる。私たちは、未来開拓学術研究（H10-14）、科研費若手研究A（15-17）、福岡水素エネルギー戦略会議研究開発支援事業（H18-19）などの支援を得て、触媒開発研究を続けてきている。シーズとして得ている触媒は、従来の方法と比較して300から400℃程度低い温度条件においても、液体や固体の副生することなく、木材中のほぼすべての炭素成分を完全にガス化できることを見出してきた。エネルギー効率の高いガス化は、バイオマスからの変換できる液体燃料の製造量を顕著に増加させるものであり、この液体燃料は、石油や天然ガスから製造したものと異なり、カーボンニュートラルで再生可能なものになるのである。

## 7. 要求に応える新しい触媒をつくる

上に述べてきた天然ガスやバイオマスを変換する触媒に関する研究の他に、二酸化炭素とアルコールの脱水の反応から、有用な有機カーボネートを合成する触媒や、バイオマスに由来する化合物を付加価値の高い化学品へと変換する触媒についても私たちが見出した結果をシーズとした共同研究を企業と推進している。

触媒は、本来反応前後で姿を変えず、半永久的に化学反応を進行させると同時に、自動的にリサイクルを続ける「けなげな」材料である。実際には性能劣化もありえるものの、触媒は本質的な意味で環境に調和する特性を持っている。資源変換は、多くの場合極めて大量の処理が要求されることが多く、高速化が必要となる。また、同時に変換プロセス全体の上流では高い収率が要求される。これらの要求にこたえるレベルの高い触媒を構築できれば、大きな問題の解決につながるものと信じている。