

回収二酸化炭素を資源として有効利用する技術システムに関する調査研究

(社) 資源協会 並木 徹

二酸化炭素(CO₂)の削減は喫緊の課題であり、低炭素社会を構築するための各種の技術開発が進められている。しかし、削減の数値目標を達成することはきわめて難しく、CO₂の大規模・固定排出源である石炭火力発電所や製鉄所からCO₂を分離・回収し、地層や海洋に貯留する技術開発を適用せざるをえないとの動きがある。この技術は有意ではあるものの、本調査研究では運輸部門でのCO₂排出量の削減を図る技術として既存のエネルギー供給システムを応用しつつ、回収CO₂を有用資源として活用し、化石燃料由来の軽油の代替可能な化学物質、ジメチルエーテル(DME)を製造して利用する技術システムを提案している。以下は、本調査研究の概要である。

CO₂分離・回収技術：主要国が天然ガスや石炭火力発電所、製鉄所などの集中的なCO₂排出施設からのCO₂を分離・回収して地層や海洋に貯留するCCS技術(Carbon Capture & Storage Technology)の現状での開発状況を纏めている。

分離技術に関しては各種の技術が提案されているが、大容量のCO₂分離には、化学吸収法と酸素燃焼法、さらには膜分離法などが有力である。また、回収後の貯留に関しては、帯水層貯留、炭素固定、石油・ガス層貯留などに関するデモプラントが稼働している。わが国の構造的帯水層での推定貯留可能量は200億トンのCO₂強であり、現在の大規模固定排出源からの排出総量の60年分程度であると推定される。既に新潟県長岡と北海道夕張でそれぞれ1万トン、900トン程度の地下注入試験を終了している。

CCS技術のコストについては、CO₂分離法で推定値に差があるが、現状では6,000円～8,000円/トン-CO₂であり、これを2,000円程度にすることが、わが国の目標である。なお、炭素税が導入されたとした場合、それがCO₂トン当たり50～90ドルとすれば、石炭火力発電所にCCS技術を適用する方が発電単価は安くなるとの試算もある。CO₂回収技術に関しては酸素燃焼法、化学吸収法をいくつかの仮定の下で比較した場合、100万kW級超臨界石炭火力では、発電端でのプラント効率は酸素燃焼法が有利に、またプラント敷地面積も有利になっているが、今後の技術進歩などを含めた検討が必要である。製鉄所も大量のCO₂を集中的に排出する施設であるが、それからの回収は圧力スイング吸着法(PSA)で年間約6万トンが商用化されており、今後も拡張が可能であろう。

こうして分離・回収した化学的に安定なCO₂分子を有効に利用するには、多くの研究蓄積があるC1化学を適用することが最善として、軽油燃料に代替可能なDME製造の諸元を次に検討した。

水素製造技術：水素はCO₂をDMEに変換したり、水素燃料電池用として不可欠な資源である。しかし、水素は2次エネルギーであり、これを化石燃料から製造しては資源論的にも、CO₂削減の視点でも問題が多い。従って、本調査研究では水素エネルギーの体系を整理し、かつCO₂削減を視野に入れた水素供給法を総合的に検討した。

わが国で現在消費されている水素の推定量は年間160～180億Nm³であるが、アンモニア合成肥料の製造が盛んであった頃の250億Nm³からは大幅に減少している。現在、水素を生産・消費している部門の代表例としては、1)石油化学工業があり、約30ヵ所の製油所での総供給能力は年間約188

億Nm³であり、外販可能量は47億Nm³程度と推定される。2)製鉄・鉄鋼業でのコークス炉ガスには水素が含有され、その供給力は年間77~90億Nm³といわれるが、製鉄所内での副生ガスの有効利用が進んでおり、これを外部供給するには、その分、外部からエネルギー供給をしなければならないのが現状である。その他には苛性ソーダ工業や石油化学工業などがあるが、供給余力を期待できない。こうした現状からみて、わが国の水素の総供給可能量は年間182億Nm³程度であろう。

軽油燃料代替用のDMEを大量に製造するには大量の水素を必要とする。いま、中国で商用化されている石炭からのDME製造プラントの規模を参考にすれば、わが国ではDME製造量年間25万kℓのプラントを数ヵ所建設することになる。ひとつのプラントに必要な水素量は年間5.6億Nm³である。今後、例えば年間100万台の電気自動車が普及すると仮定すれば、ガソリン消費量が原油換算で88万kℓ減少するが、現状の精製比率からみて、その留分である軽油が61万kℓ減少するため、その分を軽油代替燃料であるDMEで補充することになる。このDME量を製造するには水素が約24億Nm³必要となる。電気自動車の年間普及台数の増減にもよるが、国内の副生水素の供給可能量からみて厳しい状況にあり、CO₂排出量を最小限にし、かつ化石燃料に依存しない水素供給には水電解法を選択せざるをえず、そのための電源構成を検討する必要がある。

DME製造技術：水素を供給してCO₂を軽油代替燃料であるDMEに変換するための技術である。現在、DME製造規模100t_日の検討や燃料としての安全性、LPG(液化石油ガス)インフラの転用可能性などに加え、走行実験などを行っている。DME製造の基本は、メタノールの脱水反応である。通常は、化石燃料である天然ガスや石炭ガスからの合成ガス(CO+水素)からメタノールを合成し触媒を用いて脱水反応すればよい。メタノールの合成反応は発熱反応であるため、そのプロセスでは反応熱の除去が課題ではあるが、商用化の上では問題はない。ここで検討している分離・回収したCO₂を原料としてメタノールを直接合成するための接触水素化反応の触媒は既に開発されており、既に特許申請がなされているので、その実用化への研究を必要としている。また、DMEの安全性試験やそれに基づく規格化も進みつつあるため、今後は既存インフラへの適用策の検討を必要としている。

CO₂有効利用のための技術システム：わが国の社会や産業活動から排出されるCO₂量は年間約13億t_年-CO₂である。本調査研究で対象とする運輸部門からの排出量は約20%を占めているため、それからのCO₂排出削減対策としてはプラグインハイブリッド車、電気自動車、燃料電池自動車の導入促進や、高速道路交通システムの高度化を図っていくことになっている。本調査研究では、燃料電池自動車は燃料電池の開発や水素供給のインフラ整備、エネルギー利用の総合効率などから判断して、電気自動車よりもその普及が遅れると想定し、電気自動車導入数とそれに伴う軽油燃料不足を補完するためのDME導入を基本シナリオとして設定し、技術システムを検討した。

電気自動車の開発状況を勘案して、リチウムイオン電池の進歩により1回の充電で160kmの走行が可能とし、年間走行距離12,000km、電池走行性能10km/kWhを採用して諸元を検討したが、この条件であれば必要電力量は電気自動車が3,000万台普及しても(現在の乗用車市場の55%程度)、必要電力量は年間360億kWhであり現在の総発電量の4%弱である。検討の結果、電気自動車導入に伴う軽油不足を推定すると、2015年での電気自動車215万台導入では、軽油代替必要DME量は236

万kl、2020年での760万台導入では835万kl、2030年での1,710万台導入では1,877万klとなる。これらのDME量を製造するには回収CO₂と必要水素量が、それぞれ2015年で330万ト、51億Nm³、2020年で1,166万ト、182億Nm³、2030年で2,628万ト、409億Nm³となる。

技術システムを熱力学的視点：特にエクセルギーの視点で検討した結果、回収CO₂からのメタノールを経由したDME合成反応などは、高いエクセルギー効率(約80~90%台)で進行するし、改質反応と合成反応などの組み合わせの効率は80%台であることが判明した。この結果は、エネルギーとしての価値が皆無な回収CO₂を原料として利用すれば、その反応生成物に仕事能力を十分に賦与することができることを意味しており、技術システムの成立性を支援しているといえる。

技術システムの可能性と課題：これらの計算結果からバス・トラックの保有台数が現状の1,800万台から16%減少して2030年には1,570万台になるとの予測に基づけば、台数減少による軽油削減量が約1,000万klになるため、初期に想定したような急速な電気自動車の普及ではCO₂を有効利用しつつ、余剰の回収CO₂はCCS技術で対応していかざるをえない結果となった。電気自動車の普及速度を2016年~2020年では30万台/年、それ以降は60万台/年とすれば、水電解に基づく水素供給量に依存する回収CO₂の有効利用ができることが判明した。この普及速度でのCO₂排出量削減やDME燃料からのCO₂排出量などの諸元を勘案して、わが国での総排出量の削減量を現在と比較した結果、2040年で1.1億ト-CO₂となり、現状の10%程度に相当する。

これらの結果を踏まえて、回収CO₂の有効利用効果を評価したが、電気自動車が2,000~3,000万台普及する時代になればDME製造のための回収CO₂量は2,000万ト弱から3,000万ト強になると共に、DMEの導入によって原油消費量が1.2億kl程度削減されることが推定される。

最後に、本調査研究の結果判明した今後の課題として、次の項目が挙げられる。

- 1) 大量のCO₂回収には大量の水素が必要であるが、従来型の石油精製の副生水素への過剰な期待はできにくいこと
- 2) 水素製造には原子力発電や新エネルギーの効果的な組み合わせ利用での水電解用電力供給が不可欠であること
- 3) 石炭火力発電所か製鉄所を利用したDME合成モデルプラントの構築を必要としていること
- 4) 電気自動車の普及は軽油燃料の供給不足を招くため、CO₂有効利用が与える関連産業への影響を検討すること

なお、参考レポートとして「高温ガス炉による水素製造技術」をまとめた。