

CO₂回収技術と回収CO₂を有効利用するシステムへの取組み

Initiatives to Develop CO₂ Recovery and Utilization Technology Systems



西風新都バイオマス発電所(太平電業株式会社提供)

仙波 範明*¹
Noriaki Senba

平田 琢也*¹
Takuya Hirata

乾 正幸*²
Masayuki Inui

米川 隆仁*³
Takahito Yonekawa

中川 裕二*⁴
Yuji Nakagawa

CO₂の排出量削減には、CO₂回収技術だけではなく、回収したCO₂の行き先、有効利用先が必要である。現状のCO₂の利用は、排出量に対して極僅かであり、地中保管(CCS: Carbon Capture and Storage)が現実的な選択と考えられる。しかし、貯留場所は偏在しており、そこから離れた地域では何らかの有効利用を図る必要がある。この課題に対して、三菱重工(以下、当社)グループでの取組み事例として、化学製品、燃料及び直接利用技術をそれぞれ紹介する。

1. はじめに

地球温暖化を背景とした脱炭素の動向に対して、再生可能エネルギーや水素への燃料転換技術の開発が加速している。しかし、すべてのエネルギーを化石燃焼以外で充足することは容易ではない。当社グループである三菱重工エンジニアリング株式会社では、燃焼排ガスからのCO₂回収技術を有しており、これまで石炭火力発電所や化学プラントに装置を納入、世界トップシェアを占めている。この技術を他の産業セクタにも適用を拡大し、脱炭素への社会ニーズに対応していく所存である。

一方、これまでのCO₂回収装置では、回収したCO₂は、地中保管(CCS)や石油増産(EOR: Enhanced Oil Recovery)、尿素合成等に用いている。しかし、今後CO₂回収を普及させていくには、CO₂の有効利用用途が必要であり、この技術開発について、当社グループの取組みを紹介する。

2. 炭素源としてのCO₂

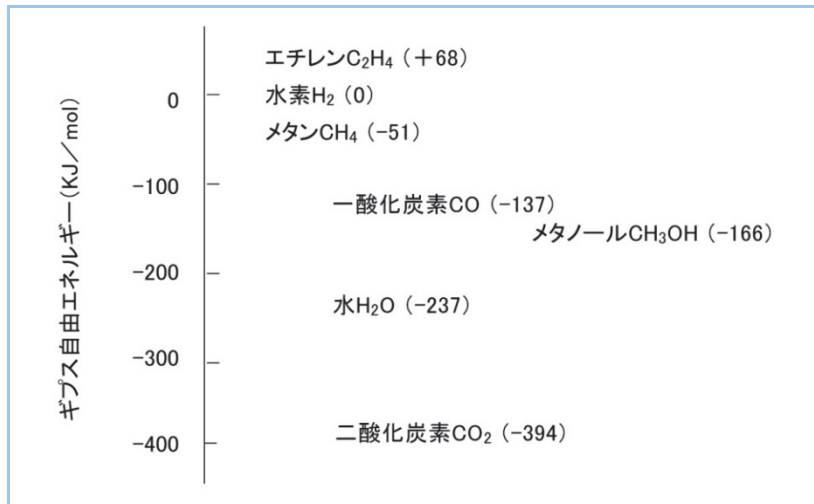
炭素は、化学製品(メタノール、ポリエチレン、カーボンブラック等)として広く用いられている元素である。現在、これらは主に天然ガス(メタン)や原油から取り出されるナフサから製造されている。CO₂から製造することも技術的には可能であるが、CO₂はエネルギー的に安定な物質であり、メタンやナフサから製造するのに比べて、多くのエネルギーが必要である。図1にCO₂、メタン及びメタノール等のエネルギー準位を示す。エネルギー準位は低いほどその物質が安定、すなわち反応しにくいことを示している。反応経路にもよるが、エネルギー準位が低いCO₂(-394kJ/mol)から化学製品(メタノール、エチレン等)を製造すると、メタン(-51kJ/mol)や一酸化炭素(-137kJ/mol)から製造する場合に比べて、エネルギーが必要になることを示している。当然ながらその分コストが高くなる。したがって、社会的にそのコストを許容する必要がある。

*1 総合研究所 化学研究部 主席研究員

*2 成長推進室 事業開発部 エナジートランジショングループ 主席部員 工学博士

*3 三菱重工エンジニアリング株式会社 脱炭素事業推進室 次長

*4 三菱重工環境・化学エンジニアリング株式会社エンジニアリング統括部 副事業部長

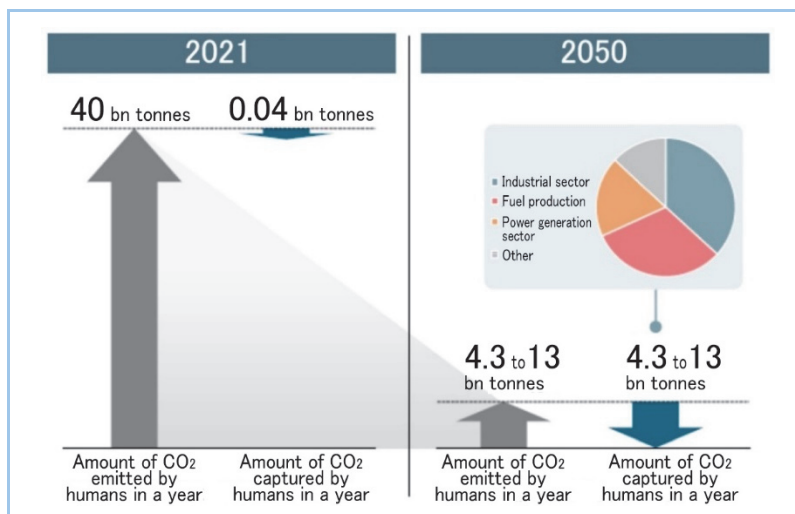
図1 反応性からみた CO_2 の性質

3. 現状の CO_2 の保管場所, 利用用途

現在排出されている人為的な CO_2 排出量は年間約 400 億トンと推定されている。カーボンニュートラルを達成するには、これを 43~130 億トンまで削減する必要がある(図2)⁽¹⁾。一方、回収が必要となる CO_2 の量は、現在の 0.4 億トンから 43~130 億トンまで増加させる必要がある。これに対する CCS の貯留ポテンシャルは、IEA によると、8兆トンと言われており、2050 年の排出予想量ベースで数百年分以上と推定されている⁽²⁾。したがって、総量的には十分な CO_2 の行き先があると言える。

現状、 CO_2 は冷媒や農業、溶接時の作動ガスとして、年間約 120 万トン利用されている。国内での CO_2 排出量は、年間 1000~1200 百万トンであり、それに比べると利用量は 0.1%程度に過ぎない⁽³⁾。前述したコストの問題と合わせると、 CO_2 の貯蔵、CCS が最も現実的な選択と考えられる。

しかし、現在の貯留場所は北米や北海周辺に偏っており、それ以外の地域では、遠く離れた貯留場所まで CO_2 を運搬するか、回収した地域周辺で有効利用を図る必要がある。

図2 必要な CO_2 削減量

4. 回収した CO_2 再利用

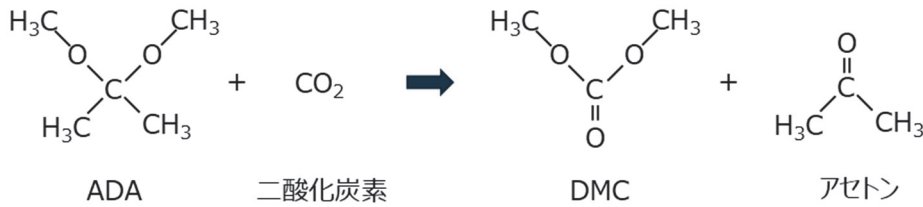
回収後の CO_2 を再利用する場合、脱炭素化のため CO_2 の固定もしくは化石燃料の消費量低減につながることを望ましい。当社グループでは、 CO_2 を再利用について、いくつかの検討を実施している。化学製品、燃料及び直接利用の例をそれぞれ挙げる。

4.1 炭酸ジメチル(DMC:Dimethyl Carbonate)

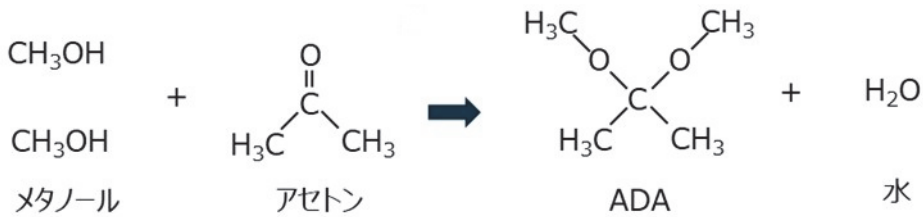
炭酸ジメチル(以下 DMC)は、リチウム電池の電解液として使用されている化学製品である。リチウム電池は長期間にわたって使用されるため、炭素の固定先の一つとして利用可能であり、今後のリチウム電池の普及に伴って使用量も増加することが見込まれる。すなわち、DMC によるCO₂ 固定が実用化すれば、例えば発電設備から排出される CO₂ を回収し、リチウム電池の電解液として流通させる等の新規な資源循環モデルも開発可能となり、脱炭素社会の一端を担うことができる。

現行の DMC 合成は、CO を原料とするが、当社は CO₂ を原料とするプロセスを、過去に構築している⁽⁴⁾。その合成法を以下に示す。現在、プロセスの最適化を検討している。

アセトンジメチルアセタール(以下、ADA:Acetone Dimethyl Acetal)を中間物質として利用し、CO₂とメタノールから DMC を合成する。反応は2段階に分割して行い、まず CO₂と上記 ADA を触媒上で反応させ DMC を得る。ここで副生成物として生成するアセトンをメタノールとエステル交換反応させることにより ADA を再生して、プロセス内で循環して利用する。(式(1)、式(2)、及び図3)



式(1) DMC 合成反応



式(2) ADA 合成反応

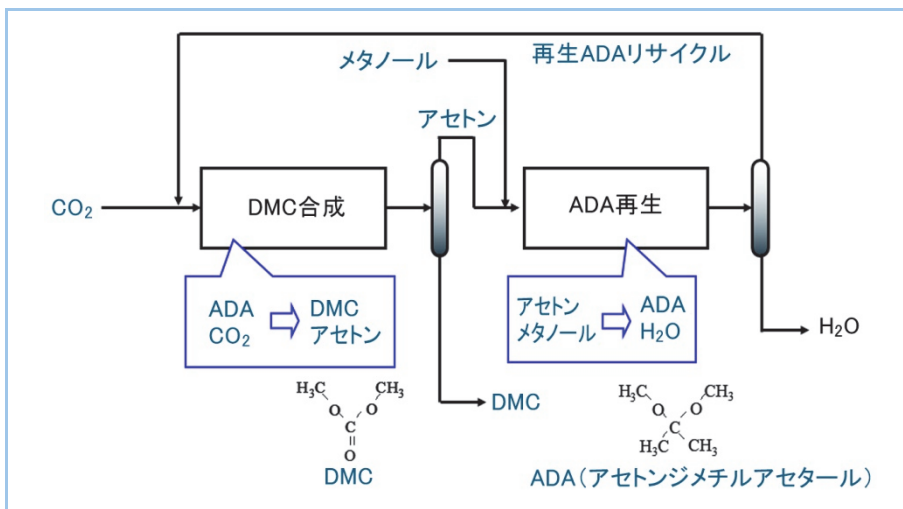


図3 炭酸ジメチル(DMC)合成法

一方、DMC の需要は、年間平均成長率で最大8%の市場となり、特に車載用バッテリー向けで顕著な需要増が見込まれる。2020年時点では年間約70万トン、2028年には年間約140万トンまで拡大する可能性がある(図4)⁽⁵⁾。需要地として特に多いのは欧米、アジア(特に中国)で、

2020年時点での需要割合は、中国(26%)、日本(11%)、北米(12%)、欧州(15%)と予想される(図5)⁽⁵⁾。CO₂の貯蔵地域から離れた東アジアで一定の需要が見込まれており、CO₂の利用用途として期待することができる。

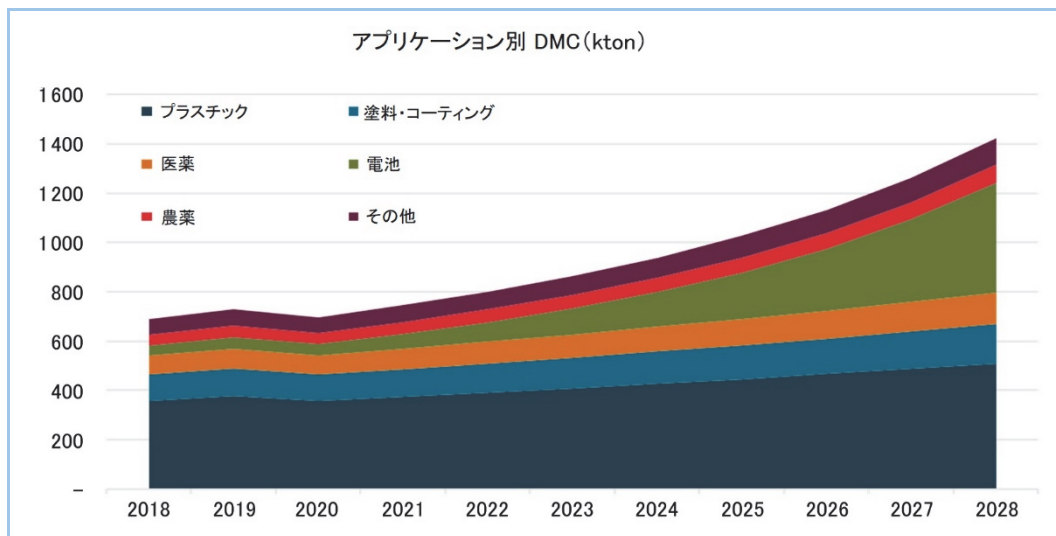


図4 DMC 需要の予測

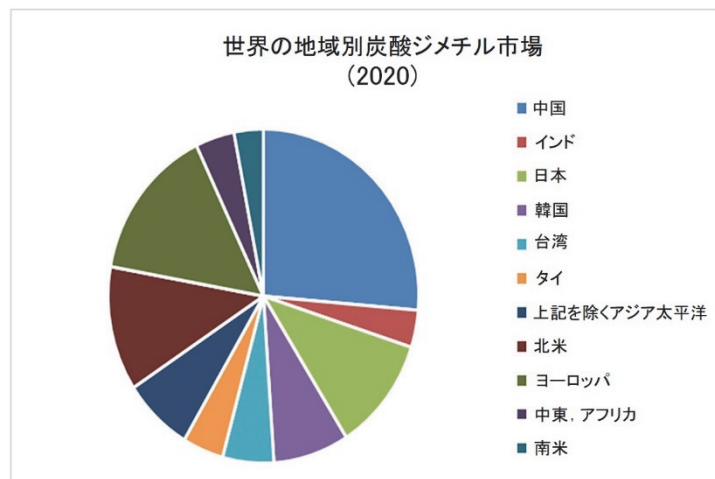
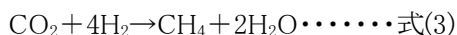


図5 DMC の地域別需要

4.2 メタン(メタネーション)

メタンは都市ガスとして使用されており、CO₂ からメタンを製造することにより、化石燃料である天然ガスの消費量低減につながる。メタネーションは、CO₂ と水素を高压高温条件下で反応させ、メタンを生成するもので、下記の反応式(3)で表される。



この反応には、水素が必要となる。水素自身でも燃料となり、またカーボンフリーではあるが、メタンに比較すると発熱量が低い。そのため、既存のメタンを送っている都市ガスと混合すると、発熱量の低下につながる。回収した CO₂ と反応させメタンにすることにより、発熱量の低下を防止することができ、影響なく、既存の都市ガスのインフラをそのまま使用することが可能となる。

当社グループの三菱重工エンジニアリング株式会社及び三菱重工環境・化学エンジニアリング株式会社では、横浜市、東京ガス株式会社と共同で、CO₂ 回収/メタネーションの実証試験を計画している(図6, 2022年1月にプレス発表)。具体的には、横浜市の清掃工場に小型の回収装置を設置し、都市ごみ焼却炉の燃焼排ガスからCO₂を回収する、一方太陽光発電や余剰電力により水を電気分解し水素を得る。この2つをメタネーションによりメタンに変換する。現在、試験

計画を進めており、CO₂の回収試験を実施する予定である。

CO₂の再利用におけるメタネーションの最大の利点は、既存の都市ガスのインフラをそのまま使用することができる点である。一方で水素の入手先やコストが課題となる。

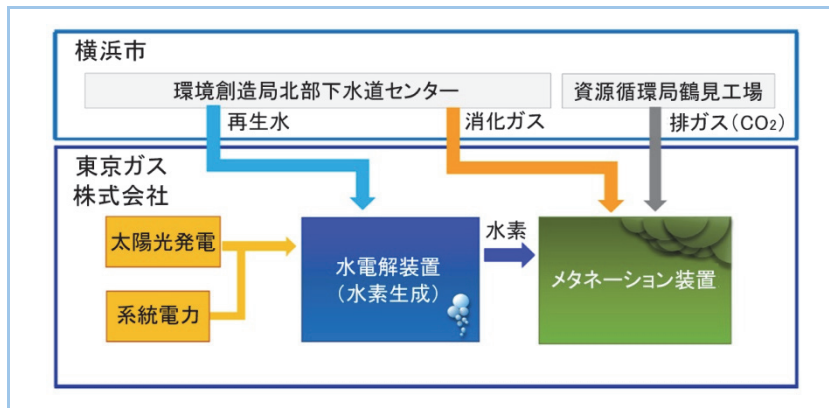


図6 都市ごみ焼却炉からのCO₂回収/メタネーション

4.3 農業利用

施設園芸においては、ビニールハウス内の環境制御を行うことにより、作物の品質や収量を高める試みがあり、その一つにCO₂施用法(CO₂肥用法)がある。植物は、葉表面の気孔からCO₂を取り込み、光エネルギーを利用してCO₂と植物内水分から酸素と糖を生産(光合成)する。一般には、CO₂濃度が高いと光合成速度が増加し、また気孔が閉じ気味となり気孔からの水分蒸発(蒸散)が減るため、植物にとっての水の節約ともなる。ハウス内のCO₂濃度は、大気中同等の400ppmから数千ppm程度で維持管理されることが想定され、化成品合成原料のような高純度なCO₂は必ずしも要求されない。現状のCO₂施用方式は、燃焼方式(灯油、LPG)や製品利用方式(液化炭酸ガス)であるが、完全燃焼による有害物生成回避や燃料・液化炭酸ガスのコスト高や炭酸ガスの安定調達(少量・分散)、といった課題がある。

当社グループである三菱重工エンジニアリング株式会社は、本年6月に小型CO₂回収装置の初号機を、広島県内にある太平電業殿向けに納め、バイオマス焚きボイラの排ガスからCO₂を回収している。このCO₂は発電所内に新たに設置されたビニールハウスに送られ、農業用に利用されている。このように、周辺環境によっては、農業利用も利用用途の一つとなり得る。

5. まとめ

CO₂の排出量削減には、CO₂の回収だけでなく、固定/保管が大きな課題である。量的な観点から、CCSが最も現実的な選択となるが、貯留場所が北米、北海周辺に偏在しており、そこから離れた地域では回収したCO₂の有効利用、固定化技術が求められる。

当社グループでは、化学製品、燃料、直接利用等様々な利用用途を検討しており、CO₂回収から再利用、固定化に至るカーボンサイクルの確立に注力している。しかし、CO₂は化学的に安定な物質であり、化学製品や燃料の原料として用いるのは、経済的には課題が多い。これらの課題に対して、当社グループだけではなく、関連する企業、自治体等とも協力しながら、CO₂削減に寄与すべく技術開発を進めていく。

参考文献

- (1) McKinsey 1.5°Cシナリオ, IEA Net Zero by 2050, IEA SDS, IPCC 等
- (2) Global CCS Institute, 2020, The Global Status of CCS : 2020, Australia
- (3) 2015~2017年頃に実施されたNEDOのプロジェクト“CO₂分離型化学燃焼石炭利用技術開発”の国内CO₂市場調査データ。(JCOALとIAEが担当)
- (4) CO₂エミッションフリー石油代替燃料製造プラントとLNGプラント, 重工技報, 第41巻, 第4号, p204-207(2004)
- (5) Dimethyl Carbonate Market - Global Forecast to 2025 (Market and Market™)

