

脱炭素社会を目指して

CCUSにおけるCO₂の利用 —CO₂を工業材料へ—

東京理科大学 Honda Masayoshi Sugimoto Hiroshi
 本田 正義*¹、杉本 裕*²

*1工学部工業化学科 助教 *2同教授
 〒125-8585 東京都葛飾区新宿6-3-1
 ☎03-5876-1718

はじめに

世界で人為的に排出される二酸化炭素(CO₂)の量は、363億トン(2021年)に達したと言われている¹⁾。2020年は新型コロナウイルス感染症の影響もあり、CO₂排出量が減少したと一息ついたのも束の間、過去最大の排出量を更新することとなった。ハワイのマウナロア観測所でも過去最大のCO₂濃度を更新しており、2022年4月26日には422.06ppmを観測した²⁾。産業革命前の1750年における大気中のCO₂濃度が278ppmであったことを考えると、CO₂濃度は270年の間に約1.5倍まで上昇したことがわかる。今後もCO₂を含む温室効果ガスが現状と同じペースで排出され続けると仮定すると、1850～1900年を基準とする2100年までの世界平均気温の変化は、最大で5.7℃上昇するというシナリオが立てられている³⁾。このような予測技術の根幹をなす基礎理論・モデルを確立したとして、2021年にプリンストン大学の真鍋淑郎 首席研究員ら3名にノーベル物理学賞が授与されたことは記憶に新しい。

CCUSが注目を集める背景

このような背景から、CO₂の削減は喫緊の課題と言える。現在、さまざまな分野で、さまざまな取り組みが行われているが、もっとも理想的なのは、「そもそもCO₂を出さない」ことである。そうは言っても、いきなりCO₂排出量をゼロにすることは不可能であるため、省エネや高効率化などの対策が取られている。現在、大量にCO₂を排出しているのは、発電所や工場などの大規模固定発生源と呼ばれるものである。東日本大震災以降、日本では火力発電の割合が高くなり、批判の的となりが

ちであるが、日本の火力発電の発電効率は世界でもトップクラスであり、かなり効率化が進んだ優秀なプロセスである。しかし、それでも大量にCO₂を排出することは避けられない。

そこで次に「排出されたCO₂をどうするか」を考える必要がある。ここで登場するのがCCUS (Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage)という技術である。日本語では二酸化炭素回収・有効利用・貯留と呼ばれ、その名の通り、3つの取組みに分けられる。

回収は、発電所や工場などの大規模固定発生源から発生する排ガスに含まれるCO₂を分離して回収するものである。詳細には触れないが、アミノアルコールなどCO₂が選択的に溶解する溶液を用いた化学吸収法、メタノールやポリエチレングリコールなどに高圧・低温下でCO₂を吸収させる物理吸収法、多孔質の固体にCO₂を吸着させる吸着法、高分子膜などによる膜分離法、気体を冷却して液化したものを蒸留する深冷分離法などがある。一方、近年注目されているのが、DAC(Direct Air Capture)と呼ばれる、大気中のCO₂を直接回収する技術である。これは欧米を中心に技術開発が進められており、日本でも2010年代から活発化してきた。比較的小規模な装置が想定されており、CO₂削減効果は小さいものの、ハウス栽培など農業での利用などが検討されている。

貯留は、回収したCO₂を地中深くの貯留に適した地層(枯渇した油田、石炭層、帯水層など)に直接圧入し、長期にわたって安定に貯留するものである。貯留のみに特化した呼び方として、CCUSのUを抜いてCCSと呼ばれることもある。世界に

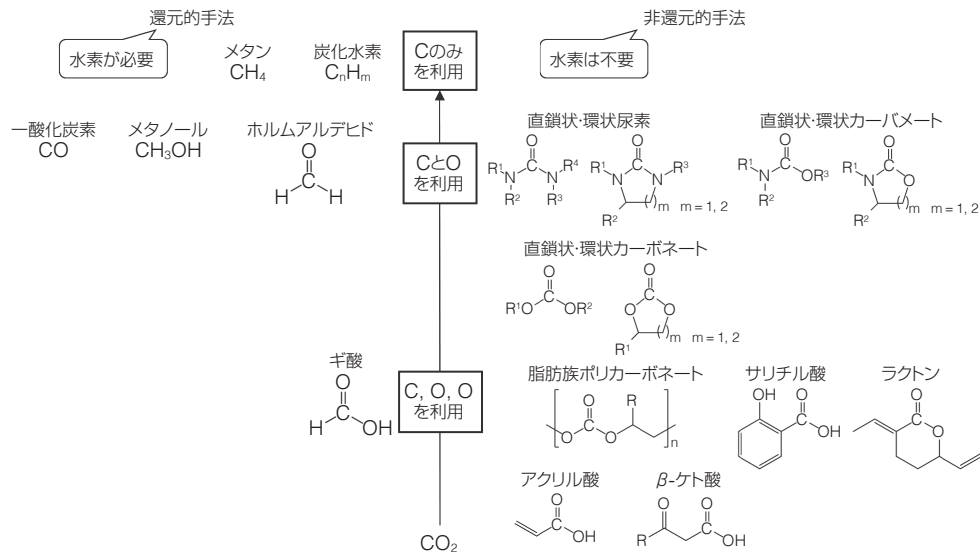


図 1 CO₂の化学的変換により合成される化合物の例

は2021年時点で、27の商用CCS設備が操業中であり、年間で合計4000万トンのCO₂が貯留されると言われている。この数は増加傾向にあり、計画段階を含めると135の設備で、年間約1.5億トンのCO₂が貯留できる予定である。CO₂の回収源として、以前は、天然ガス処理、肥料や化学品の製造プラント、発電所が主であったが、最近ではLNG液化プラント、DAC施設、ブルー水素(天然ガスなどの化石燃料を原料として作られる水素のこと)やセメントプラントも建設工事が始まっている⁴⁾。日本でも北海道苫小牧沖でCO₂を海洋に隔離するための実証試験が行われており、2016年4月6日から2019年11月22日の間に累計約30万トンが貯留され、モニタリングされている⁵⁾。一方、国際エネルギー機関(IEA)によると、2050年のネットゼロ排出量を達成するシナリオでは、CCUSで発電施設やセメント製造施設から76億トンのCO₂を回収し、そのうち95%を貯留する(CCS)と想定している⁶⁾。これは、現在のCCSの施設数、貯留量と比べると、100～200倍が必要であり、簡単ではないことがうかがえる。

CCSは地球温暖化対策には重要な役割を果たすものの、CO₂を地下に隠しているに過ぎない。これに対しCCUSのUは、せつかくなら回収したCO₂を有効に利用するものである。私たちの日常

生活の中でも、炭酸飲料への添加剤、消火剤、ドライクリーニングに用いる成形剤、ドライアイスなどの冷媒、炭酸ガスを用いたアーク溶接など、さまざまなところで目にする機会がある。また、比較的温和な条件で超臨界状態になることから、食品や医薬品の抽出溶媒としても利用される。これらの利用法は物理学的手法に分類され、利用と同時にCO₂が再び大気中に放出されることになる。

CO₂の化学的変換による利用

筆者らはCO₂の有効利用として、化学的にCO₂を有用な化合物に変換する研究に取り組んでいる。しかしCO₂は有機物を燃焼した際の最終生成物、すなわちエネルギー的に極めて安定な化合物である。それゆえにCO₂を原料とする反応は非常に難しい。工業的には尿素、サリチル酸、芳香族ポリカーボネートの製造に限られている。CO₂の化学的変換によって合成される化合物の例を図1に示す。図の中心にある縦軸を境に、左側が水素を必要とする還元的手法、右側が水素を必要としない非還元的手法である。還元的手法で合成される化合物は工業的に利用されているものばかりであり、大きな需要を持つ。しかし、分子構造が単純であり、既存の石油化学産業の中で効率的に製造できるため、わざわざCO₂から合成するメリットに乏しい。一方、非還元的手法で合成されるも