



実現するCCUS

カーボンニュートラル社会を

CCUSのイメージ図

目標となるCO₂削減量を達成するためには、CO₂排出量の抑制に加え、さまざまな技術革新が必要とされている。

出典：環境省パンフレット

IPCC (気候変動に関する政府間パネル) 報告書では、「現存または計画中の化石燃料インフラで追加的な削減対策を行わない場合、1.5℃超の温暖化につながるCO₂が排出される」と警告している。現在、世界各国でCO₂排出量削減のため、CO₂分離・回収技術に加え、CO₂を有効利用・貯留するための技術開発が盛んに行われている。カーボンニュートラル社会の実現に必要なCCUS (Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage) の開発動向について紹介する。

世界的に注目されるCCUS

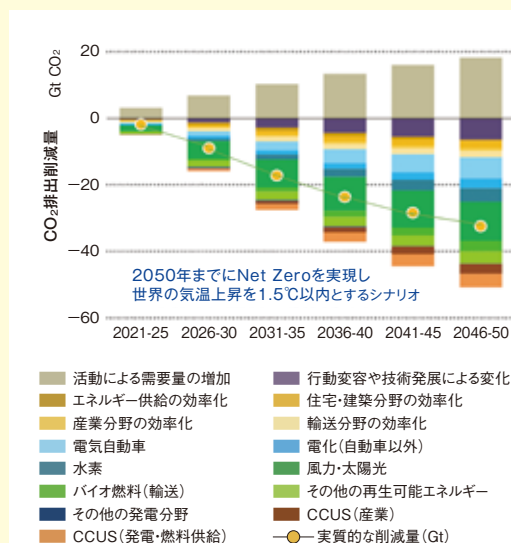
2015年に締結されたパリ協定では、長期的な目標として「世界の平均気温上昇を産業革命以前に比べて2℃より十分低く保ち、1.5℃に抑える努力をする」を掲げ、2021年のCOP26 (国連気候変動枠組条約第26回締約国会議) では、「1.5℃目標」に向かって世界が努力することが、正式に合意されている。

日本は、2020年に「2050年までに、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする＝2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指す」ことを宣言し、2021年には「2030年度において、温室効果ガスの2013年度からの46%削減を目指すことを宣言するとともに、50%の高みに向け、挑戦を続けていく」ことを表明している。

各国がCO₂削減の努力を続けている中、IEA (国際エネルギー機関) は2030年におけるCCUS (Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage) によるCO₂削減量を年間約1.6 Gt (16億トン) と推計し、2050年における削減量を年間約7.6 Gt (76億トン) まで増加すると見込んでおり、CCUSがCO₂削減に大きく寄与することを期待している (図1)。

CCUS とは、CO₂ (Carbon dioxide) の分離・回収 (Capture)、利用 (Utilization)、貯留 (Storage) によるCO₂削減の意味で、CO₂発生源からの排出量削減に加え、CO₂を利用したり、貯留

することで、目標となるCO₂削減量を達成しようというものである (図2)。



出典：IEA "Net Zero by 2050 A Roadmap for the Global Energy Sector" Figure2.4をもとに作成

図1 2020年を基準としたCO₂削減量 (年平均) の内訳

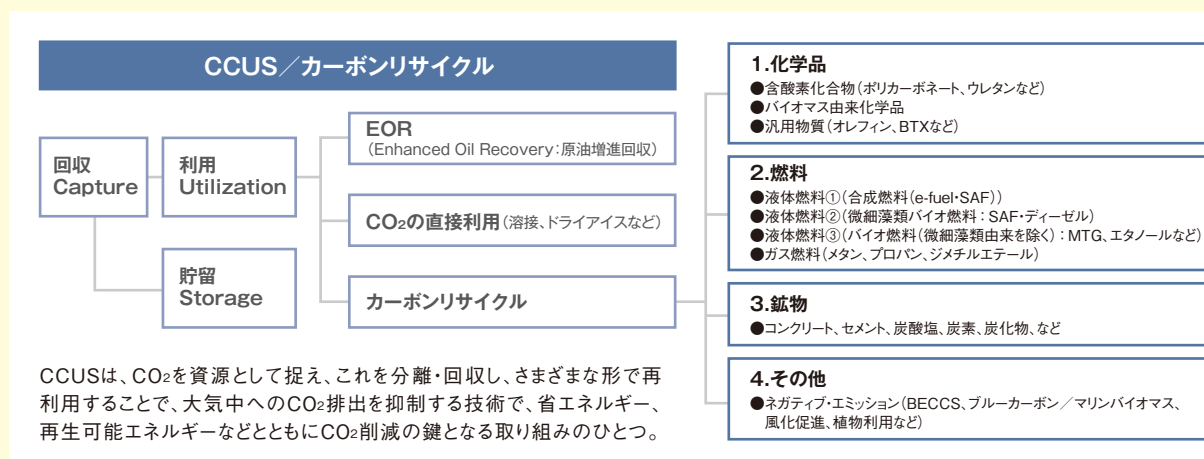


図2 CCUSのコンセプト

出典：経済産業省「カーボンリサイクル技術ロードマップ」をもとに作成

さまざまなCO₂の分離・回収技術

CCUSの基盤となる1つめの技術が、CO₂の分離・回収技術である。CO₂回収関連技術には、化学吸収法や物理吸着法など既に技術的に確立している手法もある。さらに、より安価な回収を目指し、固体吸着法、膜分離方法などの技術開発が進められている。また、CO₂の分離・回収を効率的に行うためには、排出源から排出されるCO₂の圧力や濃度などの条件に応じて最適な方法を選択する必要がある。

CO₂排出量が多い産業部門でもCO₂の分離・回収技術の開発が進められており、環境調和型プロセス技術開発／水素還元等プロセス技術の開発「COURSE50」では、化学吸収法と

物理吸着法の開発が行われている。

化学吸収法は、ガス中のCO₂をアミン水溶液などの吸収液中に化学的に吸収させ、温度操作または圧力操作により、その吸収液からCO₂を分離回収する技術である(図3)。

化学吸収法は成熟した技術と見なされているが、COURSE50では消費エネルギーを最小化する新吸収液・プロセス、装置を小型化する技術などにより、世界をリードする化学吸収技術が開発されている。COURSE50のPhase Iにおいて開発された化学吸収液の一つはすでに実用化されており、商業運転が開始されている(図4)。

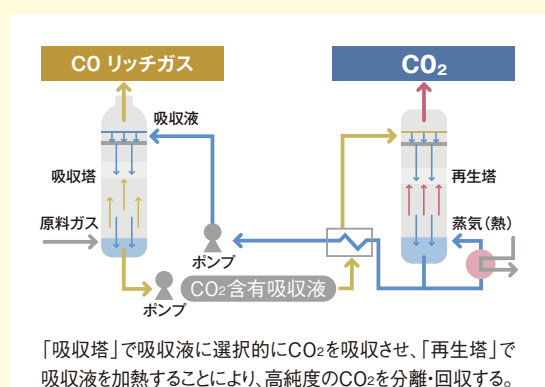
化学吸収技術に対して、物理吸着技術は吸着剤にCO₂を選択的に吸着させ、減圧操作によりCO₂を回収する技術である(図5)。物理吸着技術は高純度・高回収率で分離・回収できるため、低エネルギーでコストも削減できる。

化学吸収法や物理吸着法のほかにも、大気中のCO₂を分離回収するDAC (Direct Air Capture) などの研究も行われている。政府の統合イノベーション戦略推進会議では2050年までにCO₂分離・回収コスト1000円/t-CO₂を目指し技術開発を行うとの戦略が示され、高効率化・低コスト化の技術開発が進められている。

分離・回収したCO₂を有効活用する

CO₂の排出量を完全にゼロにすることは難しい。そこでCO₂を資源として捉え、これをさまざまな形で再利用することで、大気中へのCO₂排出を抑制することができる。これが2つめの基盤技術の「カーボンリサイクル (CO₂利用)」技術である。

分離・回収されたCO₂の利用はこれまでも、枯渇した油



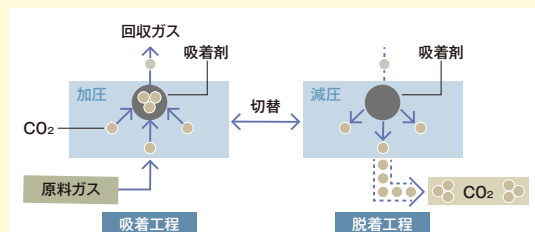
出典：NEDO・日本鉄鋼連盟：COURSE50

図3 化学吸収システムの概要



日本製鉄北日本製鉄所室蘭地区構内に設置された省エネ型CO₂回収設備にはCOURSE50で開発された化学吸収液が採用されている。また、2号機が石炭火力発電所の燃焼排ガスからのCO₂分離回収技術では日本初の商業設備に採用されている。
画像提供：日鉄エンジニアリング(株)

図4 商用化された省エネ型CO₂回収設備



高圧下で吸着剤にCO₂を選択的に吸着させた後に減圧することで、CO₂を吸着剤から離脱させ、効率的に高濃度CO₂を回収できる。

出典：NEDO・日本鉄鋼連盟・COURSE50

図5 物理吸着システムの概要

田にCO₂を圧入して油田の残存原油を回収するEOR (Enhanced Oil Recovery)や、産業分野では溶接用シールドガス、飲料・食品分野では炭酸水や、生鮮食品の保管・輸送用のドライアイスなどで利用されてきた。

経済産業省などでは、今後より積極的にCO₂を利用する分野として化学品、燃料、鉱物・コンクリートなどを挙げ、2019年には「カーボンリサイクル技術ロードマップ」を策定している。カーボンリサイクルは、それ自体が直接的にCO₂削減に貢献できることに加え、水素や再生可能エネルギーの活用・相乗効果により、「ネットゼロ*」の実現にも有効である。さらに、多様な業種の事

業者が、それぞれの事業分野において、既存インフラを活用して取り組むことが可能であることから、CO₂削減の鍵となることが期待されている(図6)。

カーボンリサイクルの分野では、CO₂から天然ガスの主成分であるメタンを合成するメタネーション技術が注目されている。「カーボンリサイクル技術ロードマップ」では、2030年には既存インフラに合成メタンの1%注入、2050年には90%注入が目標として掲げられている。実用化を目指した実証試験も行われており、小田原市では清掃工場から排出されるCO₂を分離・回収し、メタンを生成する設備で試験が行われた(図7)。

メタネーション技術は鉄鋼分野でも研究が行われ、カーボンリサイクル高炉の開発が進められている。これは高炉で発生し

*温室効果ガスの排出量と吸収量を均衡させて排出量を実質ゼロにすること

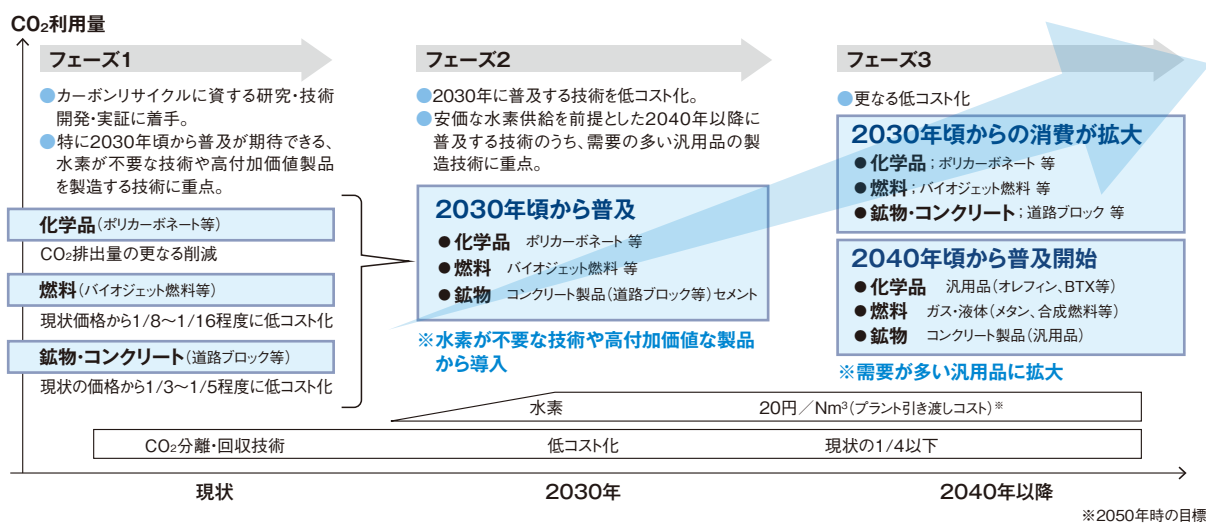


図6 カーボンリサイクルを拡大していくイメージ

出典：「カーボンリサイクル技術ロードマップ」をもとに作成



環境省委託事業「清掃工場から回収した二酸化炭素の資源化による炭素循環モデルの構築実証事業」として小田原市の環境事業センターに設置されたメタネーション実証設備は、毎時125 Nm³のメタン製造能力を持つ。なお、実証試験は2022年8月まで行われ、試験終了後、設備は解体予定である。画像提供：日立造船(株)

図7 メタネーション実証設備

たCO₂、CO、H₂からカーボンニュートラル還元材(メタン)を生成し、再び高炉で利用するものである(図8)。

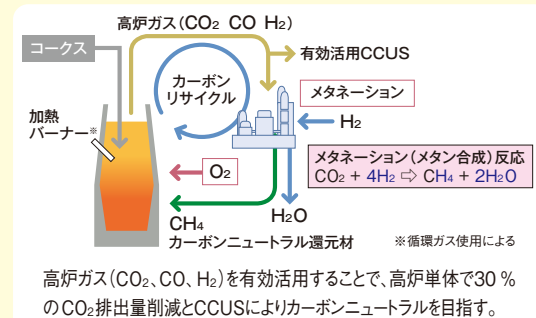
鉱物分野でのカーボンリサイクルでは、コンクリートへの応用研究が進められている。カーボンリサイクル技術ロードマップでは、2030年までに石灰石から排出されるCO₂を100 %近く回収する技術の開発をはじめとした、カーボンリサイクルセメント技術の確立を目指すとしている。

また、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)では、「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発」の一環として、CO₂を資源として有効利用するカーボンリサイクル技術の確立に向け、中国電力(株)大崎発電所内に実証研究拠点を整備している。カーボンリサイクル実証研究拠点は、大崎上島町(広島県)に今年度、開所する予定である。石炭をガス化した上で、ガスタービンと蒸気タービンによる発電(IGCC:石炭ガス化複合発電)から分離・回収したCO₂からバイオ燃料、化学品、炭酸塩など、さまざまなカーボンリサイクル技術の開発が行われている。

実用化に迫るCO₂貯留技術

3つめの技術基盤は貯留技術(Carbon dioxide Capture and Storage:CCS)である。経済産業省では、2012年度から2017年度まで「二酸化炭素削減技術実証試験事業」を日本CCS調査(株)へ委託し、苫小牧市にて実証試験を行っている。2012年度から2015年度の4年間は、必要な設備の設計・建設や調査を実施し、2016年4月からは海底下約1000 mの地層および約2400 mの地層にCO₂を圧入している。2019年11月22日には、累計圧入量が目標の30万トンに到達した。CCSは世界で実用化の動きが進んでおり、オーストラリアでは石油・ガス大手企業がCO₂を回収して地下に貯留するCCS事業計画を発表している。

カーボンリサイクル技術ロードマップではCO₂の利用に分類さ



出典：JFEスチール(株)

図8 カーボンリサイクル高炉の仕組み

れているが、CO₂を固定化する技術としては、コンクリートが固まる過程でCO₂を吸い込み、固定化することができる環境配慮型コンクリートがすでに実用化されている。しかし、コスト高である点と用途が限定される点が課題であり、用途拡大や既存コンクリートと同価格まで低減する取り組みが行われている。また、コンクリート表層に塗布した含浸剤でCO₂吸収を促進するCO₂固定化技術も開発されている。大気中のCO₂を固定できることに加え、防食性能を高める効果も期待されている。

さらに鉄鋼スラグを利用して海藻などの海洋生態系にCO₂を吸収させる「ブルーカーボン」の取り組みなども行われている。

日本は、2050年カーボンニュートラルの実現を推進するために約2兆円の「グリーンイノベーション基金」を2020年に造成したが、その中にはカーボンリサイクル分野が含まれ、研究開発・実証から社会実装までを継続して支援する仕組みが整えられてきた。「カーボンリサイクル産学官国際会議」などの国際学会の開催や、民間主導でカーボンリサイクルの取り組みを加速するための一般社団法人カーボンリサイクルファンドも2019年に設立され、カーボンリサイクルへの期待は大きく高まっている。

すでに実用化されているCO₂を原料にした化粧品用プラスチック容器の開発では、ベンチャー企業、素材メーカー、化粧品メーカーが共同で開発しており、カーボンリサイクルでは個々の企業の取り組みではなく、協業することで成果に結びつく例が少ない。国際学会やカーボンリサイクルファンドなどが情報交換や共同研究のきっかけになることが期待される。

CCUSは、分離・回収、利用、貯留、さらに輸送なども含む裾野の広い技術分野である。中でも世界的にも注目を集めるカーボンリサイクル技術の開発は日本の国際競争力を高めていくために不可欠の取り組みであり、大きなチャンスであるといえるだろう。

●取材協力：経済産業省 ●文：石田亮一