

化学研究グループ

CO₂分離・回収技術の将来を見据え先導技術へ挑戦

地球温暖化の進展が海洋の熱塩循環停止のような壊滅的な影響を地球環境に与える懸念がある。そのような事象を防ぐために、科学的に大気中のCO₂濃度をいくかに抑制するかという問いに対して、CO₂濃度が550ppmであるとその確率が数%であるが、650ppmまで上昇すると数十%で発生するとの見解がある。

昨年発表されたスターンレビューでは、上記のようなカタストロフィクな事象を考慮せずとも、地球温暖化に対処しないと毎年5%以上のGDPロス発生を予測し、GDP 1%程度の対策費の支出が経済的合理性あることを主張している。

大気中のCO₂濃度を2100年に産業革命前の2倍濃度である550ppmという指標が設定された仮定すると、CO₂濃度抑制のためには、省エネルギー、燃料転換、再生可能エネルギー（太陽光、風力、バイオマス）、原子力だけではCO₂抑制量が足りず、CO₂の地中貯留などによるCO₂削減が必要になると予測されている。地中貯留コストの7割程度は排出源からのCO₂分離に要すると試算されており、地中貯留技術の実用化促進にはCO₂分離コストの低減が重要である。

化石エネルギーの転換技術は進歩しており、ボイラースチームタービンの発電方式から、ガスタービン複合発電、燃料電池複合発電へと進化していくと予想される。発電装置からCO₂を分離回収する技術も化学吸収法、物理吸収法、膜分離法、酸素燃焼法など多岐にわたっている。技術進歩によって、CO₂分離が対象とする燃料転換装置と分離装置の組み合わせが変化し、より経済性の高い技術に対応したCO₂分離技術の開発に対応できるように図1に示すような技術開発ビジョンの基に開発を進めている。

化学グループでは多様なCO₂分離技術開発に努めながら、特に化学吸収法と膜分離法には力点を置いてきた。化学吸収法では製鉄所の排ガスを対象にしたCO₂分離技術の開発では3700円/トン-CO₂まで低減の目処が得られ、さらに2000円/トン-CO₂を狙った化学吸収液の開発を進めている。また、膜分離法ではH₂を含むガスからでもCO₂の選択性では世界でトップの素材を見出した。現在は、その素材を膜構造の中へ組み入れる研究に取り組んでいる。

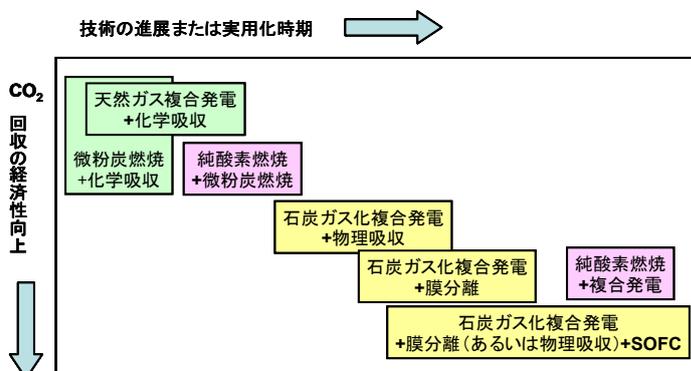


図1. 長期的な視点での発電技術とCO₂分離技術

化学吸収法によるCO₂分離回収技術開発

比較的大規模設備での実用次期が早い化学吸収法によるCO₂分離回収技術開発プロジェクトを、RITEを中心に民間4社の協力を得て、H16年度から5年間の予定で進めている。

本プロジェクトは、製鉄所の排ガスを主な対象とし、CO₂分離回収コストを従来の半分以下にすることを目的とし、図2に示すように低エネルギーでCO₂の分離回収が可能な新吸収液の開発、および分離回収に必要なエネルギーを安価で供給するための製鉄所等の未利用廃熱利用技術の開発が課題である。

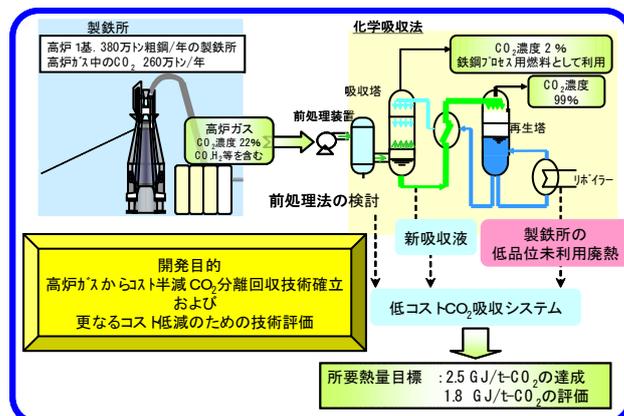


図2. 低品位廃熱を利用するCO₂分離回収技術(COCS)概要

このうち、RITEは新吸収液の開発を主体的に進めている。新吸収液に望ましい性能は、吸収液とCO₂との反応において、反応熱が小さくかつ吸収しやすく分離しやすいことであり、それらの性能により排ガス中のCO₂を低エネルギーで分離回収できる。それらの特性を示す吸収液はアミン水溶液が優れている。アミン吸収液選定の考え方と吸収液開発のステップを図3に示す。第1ステップとして、約100種類の市販アミンを図3

に示す考え方から選定して、アミン水溶液とCO₂との吸収速度、吸収量、反応熱等の反応特性をラボ実験により調査し、反応特性に及ぼすアミンの化学構造的特徴を把握した。更に、各種アミンの性能の得失を補完し合う複合アミンを検討し、その性能を同様に調査した。その結果、これまでに3種類の特性の異なる高性能な新吸収液(RITE-3A, -4A, 4B)を開発できた。これらのうち、ベスト吸収液の分離回収エネルギーは、MEA(モノエタノールアミン)標準吸収液が1トンのCO₂あたり4.0GJであるのに対して2.9GJと大幅に低減でき、図4に示すように当プロジェクト目標の2.5GJに近いレベルまで開発することができた。

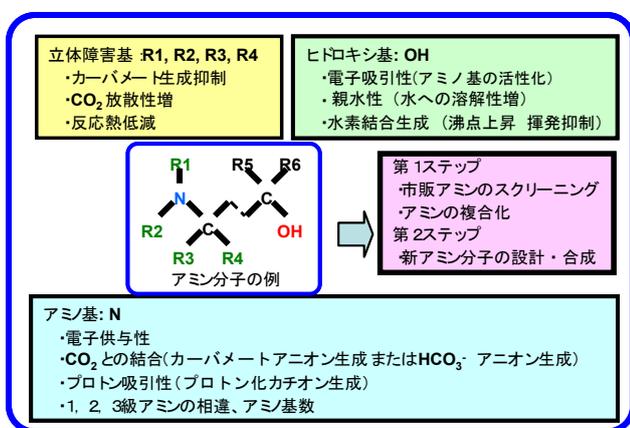


図3. 新規吸収剤開発

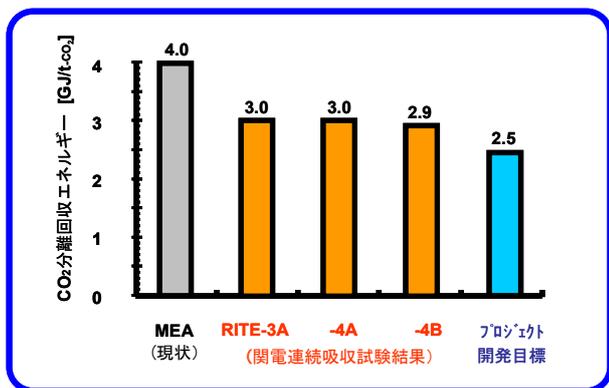


図4. CO₂ 分離回収エネルギーの開発目標と成果

今後同様な手法で新吸収液の開発を進めるとともに、第2ステップとして、これまでの知見を基に新規な分子構造のアミンを設計合成して評価する研究を開始している。

更に、新吸収液の特性を最大限に活かすための化学吸収システムの最適化研究にも範囲を広げて、当プロジェクトの目標以上の分離回収エネルギー低減を目指して研究を推進していく。

新しい化学吸収液再生技術の開発

化学吸収法の吸収液再生工程におけるエネルギー消費を低減するために、図5に示すようなCO₂放散促進材を用いる圧力差による再生技術を開発している。これまでに、従来の化学吸収法で用いられている吸収液の高温加熱再生に比べてエネルギー消費を1/2以下に低減し得る放散促進材とプロセス条件を見出した。現在、さらなるエネルギー消費の低減を目指して開発を続けるとともに、この新しい技術を燃焼排ガスのみならず、化学プロセス、バイオプロセス等で発生するCO₂を分離する用途への実用化検討を産業界と連携して進めている。

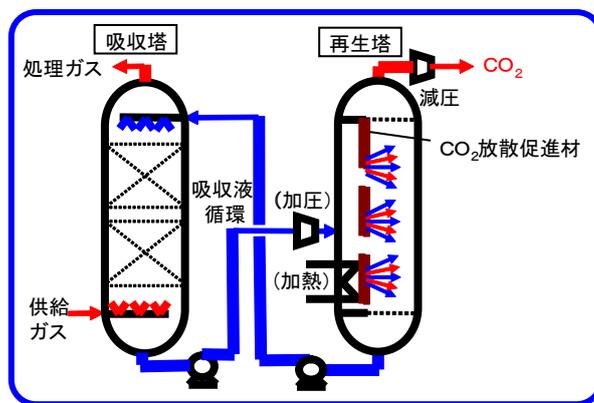


図5. 促進材による吸収液再生法の概念

高分子膜によるCO₂とH₂の分離

高分子膜は、天然ガスからのCO₂除去の実績を有するが、地球温暖化対策で大量のCO₂を分離する場合には、分離コストと消費エネルギー削減の観点で分離性能の更なる向上が必要である。そこで、カルド型ポリマー膜の経験を生かし図6に示すようにCO₂分子を膜内にとりこんで、他のガス分子の透過をブロックする機能を持った「分子ゲート膜」で、従来膜の性能を大幅に上回る革新的な分離膜の開発を目指している。

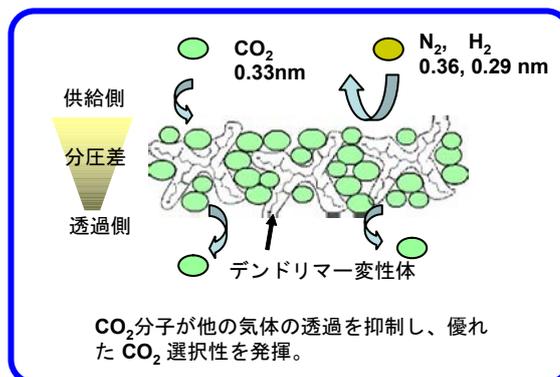


図6. 分子ゲート膜

RITEが開発した dendrimer を用いた場合に、CO₂とN₂の選択性は1000以上であり、吸収法に匹敵するCO₂分離の可能を有する。またCO₂とH₂の分離に当たっては世界トップレベルの値である730という非常に高い選択性を示す。圧力を有するガス、例えば水性ガスシフト反応の生成物からCO₂を分離する場合に、CO₂分離コストが1500円/t-CO₂以下と試算された。本テーマは炭素隔離リーダーシップフォーラム (CSLF) の認定プロジェクトであり、共同研究先である米国エネルギー省国立エネルギー技術研究所 (NETL) において、RITEが開発した図7に示すような dendrimer 複合膜モジュールの試験を実施した。

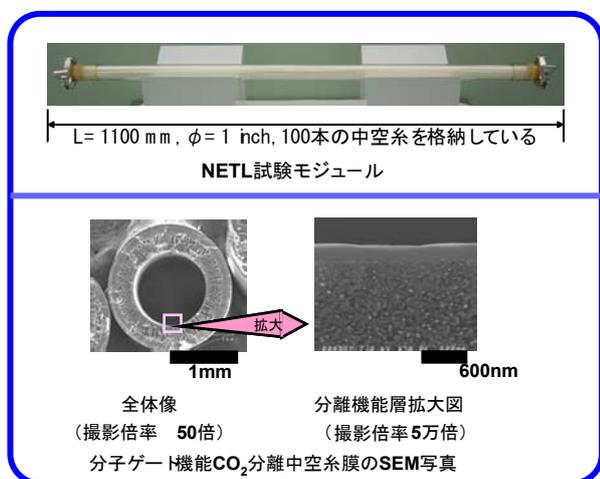


図7. dendrimer 複合膜モジュール

高温で触媒との組み合わせで使える無機分離膜

無機多孔質材料であるゼオライトやメソ細孔多孔体などの細孔は、鑄型合成というプロセスをとるのでサブナノレベルの極めて均一な細孔を有し、またフレームワークの熱運動/伸張性が低い。その特徴を生かした高温域での高選択的な分離膜としての利用が期待されている。そこで現在、従来膜の性能を大幅に上回る高い選択性を持ったCO₂/N₂、CO₂/H₂分離機能の発現に取り組んでいる。これまでにシミュレーションによりCO₂高選択的分離ゼオライト膜構造を推定し、高性能が期待できる新しい膜材料の種結晶および製膜作製条件の具体的な検討を進めており、いままでも無機分離膜に使われたことがない素材の合成に成功した。

一方、メソ細孔シリカはそのメソ細孔空間を鑄型として、その内部に別の化合物を合成する、あるいはメソ細孔空間の内

表面にあるOH基との反応を利用して内表面上に機能性を持たせた分子を配置することが可能である。このような特徴を利用して、これまでにPdナノ粒子を細孔内に充填した、図8に示すような新規な水素分離膜構造を提案し、新たに開発したPdの細孔内への高密度充填方法により作成した複合膜は水素選択分離性を発現することを見出した。現在この膜の性能向上と、耐久性、大型化の検討を行い、更にシフト反応条件下での水素分離膜/リアクターへの適用へと展開する予定である。

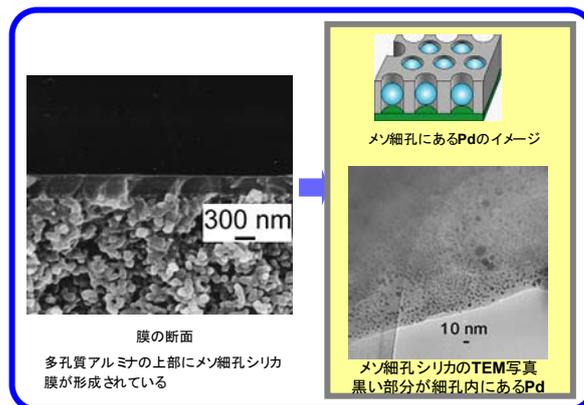


図8. メソ細孔シリカの内部空間に Pd を配した水素分離膜

低温プラズマシステムによるディーゼルPM低減

近年、PM除去技術の確立のないまま、ディーゼル排気PMに対する排出規制がますます厳しくなっている。低温プラズマを活用したディーゼル排ガス後処理技術がPM除去の有力候補として注目されている。RITEはダイハツ工業(株)と共にNEDOから「次世代低公害車技術開発プログラム/革新的次世代低公害車総合技術開発、革新的後処理システムの研究開発」の補助を受け、図9に示す低温プラズマPM除去システムの研究開発を行なっている。RITEはプラズマ放電特性とPM酸化特性を解明し、小型ディーゼル車に搭載できるような高PM除去能力と低圧損プラズマ反応器とプラズマ反応器を駆動する電源を研究開発中である。

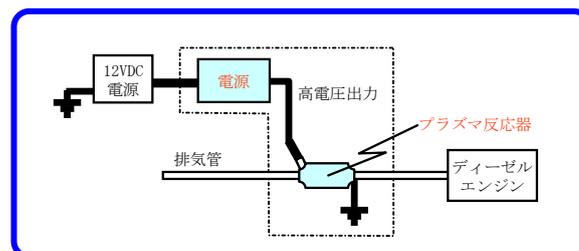


図9. プラズマ反応器によるPM除去システム