

## CO<sub>2</sub>分離・回収技術の高度化・実用化、及びCO<sub>2</sub>排出削減技術開発へ向けた取り組み

### 1. CO<sub>2</sub>分離・回収技術研究開発

CCS(CO<sub>2</sub> capture and storage)は、化石燃料の燃焼で発生したCO<sub>2</sub>を回収し、回収したCO<sub>2</sub>を地中に貯留・隔離する技術である。

CCSコストの約6割程度は排出源からのCO<sub>2</sub>回収に要すると試算されており、CCSの実用化促進にはCO<sub>2</sub>回収コストの低減が重要である。

化学研究グループでは、CO<sub>2</sub>分離回収技術の研究開発を行っており、今までに化学吸収法、膜分離法、吸着法で世界をリードする研究開発成果を上げてきた。材料の開発に始まり、加工、システム検討までを一貫して研究開発していることが特徴である。

化学吸収法では、COCSプロジェクトと名付けたCO<sub>2</sub>分離技術の開発成果を引き継ぎ、製鉄所の排ガスを対象にした実証研究となるCOURSE50プロジェクトに参加し、より高性能な新化学吸収液の開発を行ってきた。本プロジェクトの最終年度である本年は、新化学吸収液の開発目標とした分離回収エネルギー2.0GJ/t-CO<sub>2</sub>を達成するとともに、これまで120℃を必要としていた吸収液からのCO<sub>2</sub>回収温度を100℃以下で可能とする画期的な吸収液を見出すことに成功した。

膜分離法では、H<sub>2</sub>を含む高圧ガスからCO<sub>2</sub>を選択的に分離・回収する分子ゲート膜で、IGCC等の高圧ガスから1,500円/t-CO<sub>2</sub>(2015年)でCO<sub>2</sub>を回収することを目指している。デンドリマーを用いる新規な高分子系材料がCO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>分離に優れることを見出し、このデンドリマーと架橋型高分子材料の分離機能層を有する複合膜の開発を行っている。最近では、従来のPEG系からPVA系の膜材料に変更するなど膜材料の改良を進め、大気圧条件において世界最高性能である分離係数>500の分離性能の膜の開発に成功している。

現在は、RITEと民間企業3社で技術研究組合を設立し、実用化を目指した膜モジュール、膜分離システムを開発中である。

吸着法では、これまでに蓄積した化学吸収法等のCO<sub>2</sub>分離・回収技術をベースに、CO<sub>2</sub>高効率回収・低エネルギー消費型の固体吸収材の開発とプロセス評価技術の開発を実施中である。現在、固体吸収材を用いたCO<sub>2</sub>分離回収に適したより高性能な固体吸収材(目標とする分離・回収エネルギー 1.5GJ/t-CO<sub>2</sub>)を見出すべく研究開発に取り組んでいる。これまでに、RITE液をベースとして低温で脱離性能の良い固体吸収材を開発し、その実現可能性を検証中である。

以上のように、幅広い次世代の礎となる革新的な技術開発によりCO<sub>2</sub>分離技術をリードし、かつ産業界が受け入れ可能な実用的な技術開発を進めている。

なお当グループは、ゼオライト分離膜によるCO<sub>2</sub>分離技術、パラジウム膜によるH<sub>2</sub>分離技術、膜・吸収ハイブリッド法によるCO<sub>2</sub>分離技術、圧力を利用したプラスチック成型技術などの独自シーズ技術を有しており、その普及に努めている。その中で膜・吸収ハイブリッド法によるCO<sub>2</sub>分離技術が民間企業に採用され、稼働している。

## 2. 化学吸収法によるCO<sub>2</sub>分離・回収技術開発

化学吸収法は、ガス中のCO<sub>2</sub>をアミン水溶液からなる吸収液に化学的に吸収させた後、加熱することでCO<sub>2</sub>を吸収液から分離・回収する技術であり、常圧で大規模に発生するガスからのCO<sub>2</sub>分離に適している。我々は、この10年間、化学吸収法における最大の課題であるCO<sub>2</sub>分離・回収コストを低減する高性能新吸収液の開発に取り組んできた。

平成16年度から平成20年度においては、製鉄所高炉ガス中のCO<sub>2</sub>を化学吸収法により従来の半分のコストで分離・回収するための「低品位廃熱を利用する二酸化炭素分離回収技術開発」プロジェクト(COCSプロジェクトと呼称)を企画推進し、当初の目標を達成することができた(図1)。

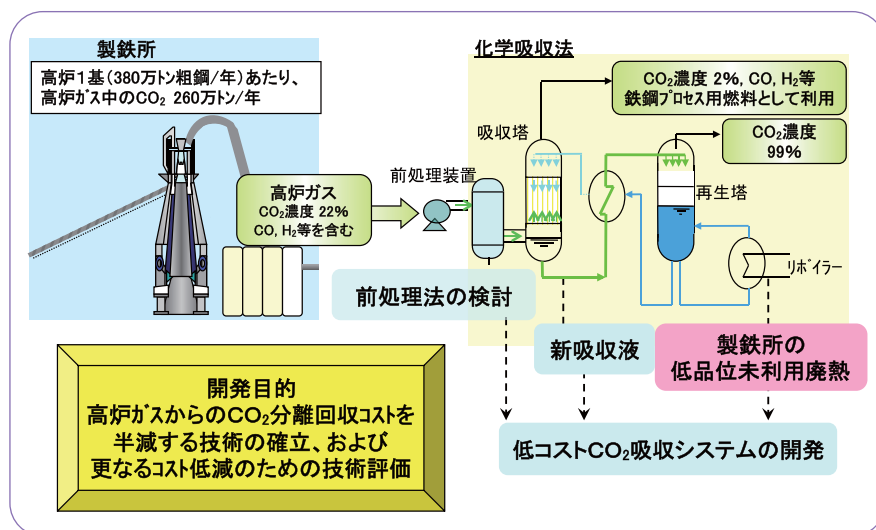


図1 低品位廃熱を利用するCO<sub>2</sub>分離回収技術(COCS)概要

このプロジェクトでは、種々の高性能な新吸収液を開発した。それまで基準として使用されていたMEA(モノエタノールアミン)吸収液のCO<sub>2</sub>分離・回収エネルギーに対して、本プロジェクトで開発した吸収液は分離・回収エネルギー消費量の大幅低減を達成した。

この開発成果は、製鉄所プロセスガスからのCO<sub>2</sub>分離・回収を目的とした環境調和型製鉄プロセス技術開発プロジェクト(COURSE50、平成20年度から5カ年)に引き継がれた。

我々は、新日鐵住金(株)および東京大学とともにこれまで培ってきた開発技法、知見および最新の計算機化学を駆使して高性能な新規アミン吸収液の開発を行うとともに、新日鐵住金エンジニアリング(株)の協力のもと、実高炉ガスを用いる1tおよび30t-CO<sub>2</sub>/d能力設備での評価に取り組んだ(図2および3)。

その結果、本年(本プロジェクトの最終年度)においては、目標とした吸収液の分離回収エネルギー2.0GJ/t-CO<sub>2</sub>を達成するとともに、これまで120℃を必要としていた吸収液からのCO<sub>2</sub>回収温度を100℃以下で可能とする画期的な吸収液を見出し、開発することに成功した。

また、これまでの吸収液開発で培った研究経験を基に、すでに高圧条件下でのCO<sub>2</sub>の吸収および放散性能に優れたアミン系吸収液を開発しているが、更なる性能向上を実現する新たな吸収液を開発中である。

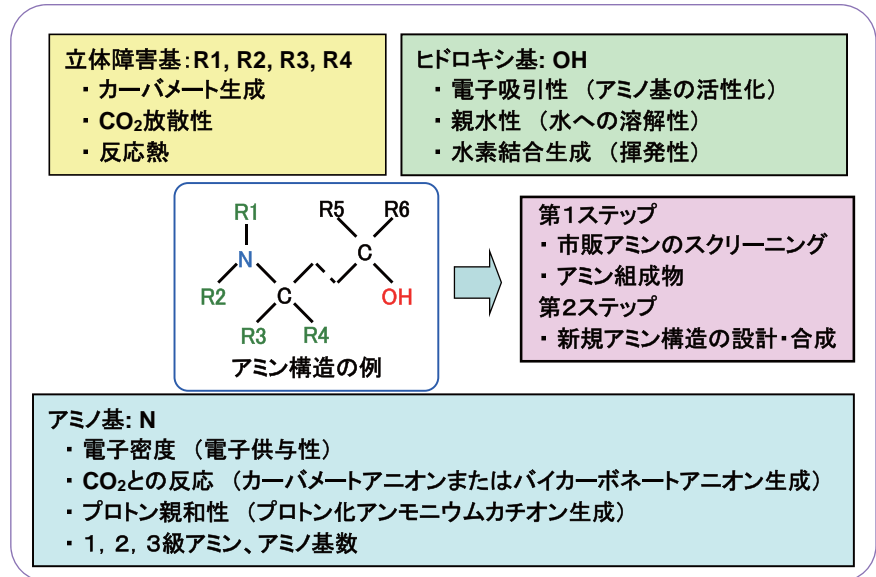


図2 新規吸収液開発

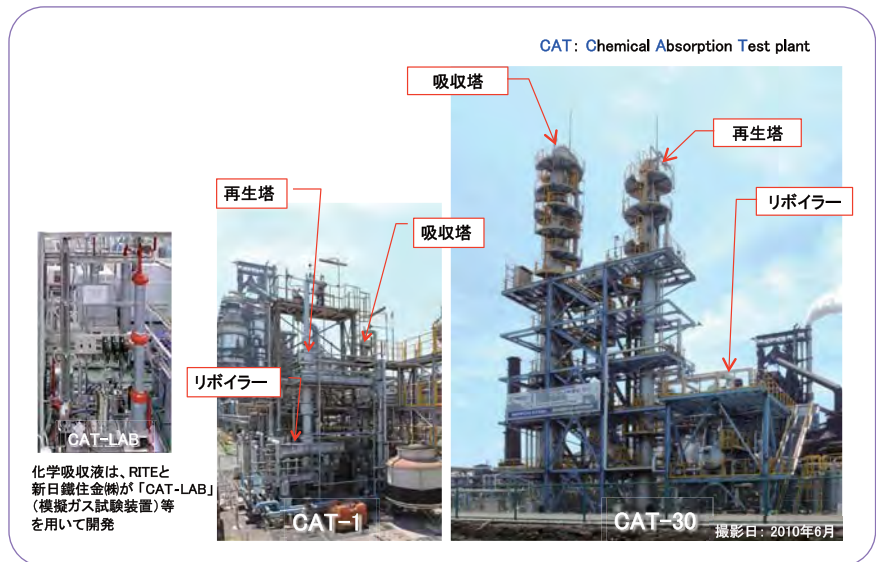


図3 試験設備の外観

### 3. 高圧ガスからCO<sub>2</sub>とH<sub>2</sub>を分離する高分子系膜の開発

日本政府が提唱する「クールアース50」の革新的技術のひとつに「ゼロ・エミッション石炭火力発電」がある(integrated coal gasification combined cycle with CO<sub>2</sub> capture & storage, IGCC-CCS)。石炭をガス化した後に水性ガスシフト反応でCO<sub>2</sub>とH<sub>2</sub>を含む混合ガスを製造し、CO<sub>2</sub>を回収・貯留して、H<sub>2</sub>をクリーンな燃料として用いる(図4)。この圧力を有する混合ガスから、1,500円/t-CO<sub>2</sub>以下のコストでCO<sub>2</sub>を回収できる新規な分子ゲート膜を開発中である。

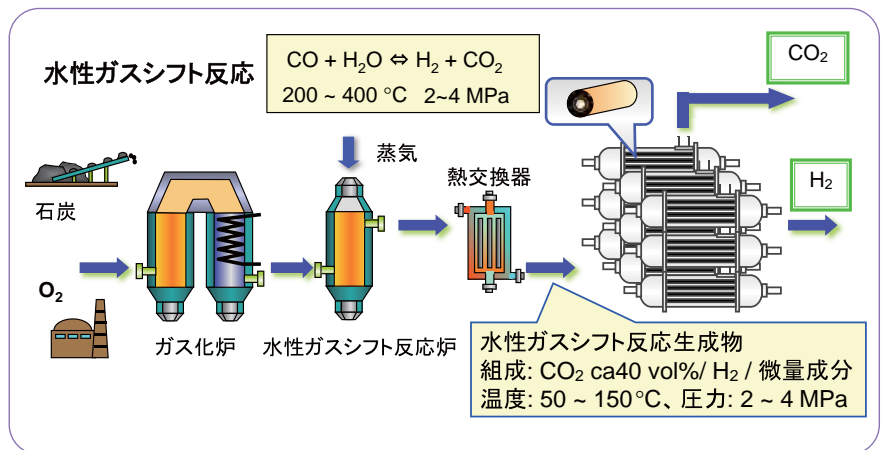


図4 分離膜を用いた石炭ガス化複合発電 (IGCC) からのCO<sub>2</sub>分離回収

分子ゲート膜は、CO<sub>2</sub>とH<sub>2</sub>を効率良く分離することが可能である。図5に分子ゲート膜の概念を示す。ここで、膜中のCO<sub>2</sub>が分子サイズの小さなH<sub>2</sub>の透過を阻害することで、従来の膜では分離が難しかったCO<sub>2</sub>とH<sub>2</sub>を効率良く分離できる。

RITEでは、デンドリマーを用いる新規な高分子系材料が優れたCO<sub>2</sub>とH<sub>2</sub>の分離性能を有することを見出し、このデンドリマーと架橋型高分子材料の分離機能層を有する複合膜の開発を行っている。

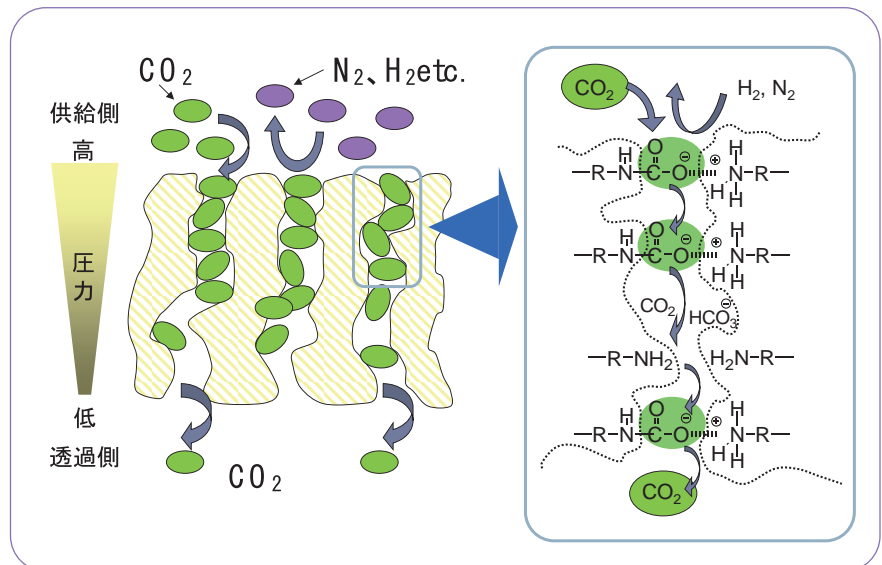


図5 分子ゲート膜の概念図

これまでに、優れたCO<sub>2</sub>透過速度とCO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>選択性を有する複合膜の開発に成功している。最近では、従来のPEG系からPVA系の膜材料に変更するなど膜材料の改良を進め、大気圧条件において世界最高性能である分離係数>500の分離性能の膜の開発に成功している(図6)。

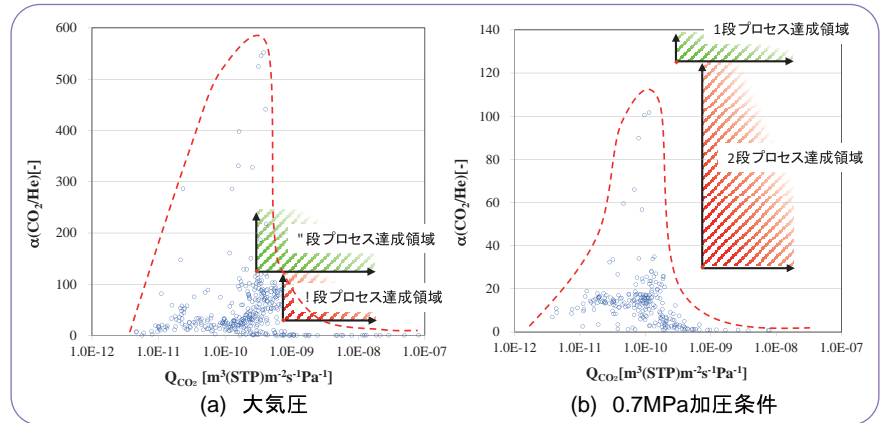


図6 PVA系分子ゲート膜の分離性能 (QCO<sub>2</sub>: CO<sub>2</sub>透過速度、α: 選択性)

この成果を元に、(株)クラレ、日東電工(株)の分離膜メーカー2社及び新日鉄住金エンジニアリング(株)と次世代型膜モジュール技術研究組合を設立し、分離膜開発、膜モジュール開発、膜分離システム開発を実施中である(図7)。その中でRITEは分離膜の開発を担当しており、IGCC等の圧力ガスからのCO<sub>2</sub>回収コストを1,500円/t-CO<sub>2</sub>とする膜を開発中である。また、現状のエネルギー事情の中で目標膜性能を見直し、分離・回収コスト1,500円/t-CO<sub>2</sub>以下を達成するためのシステム検討を行い、膜性能とCO<sub>2</sub>分離・回収コストとの関係を推算した。その結果、図6に示すように、1段プロセス、2段プロセスにおける目標膜性能を明らかにした。大気圧条件においては、いずれの目標値をクリアしており、今後耐圧性付与等の実用化に向けた検討を進めていく。

デンドリマー膜の開発は、炭素隔離リーダーシップフォーラム(Carbon Sequestration Leadership Forum, CSLF)\*の認定プロジェクト「圧力ガスからのCO<sub>2</sub>分離」に登録され、米国エネルギー省国立エネルギー技術研究所(DOE/NETL)と共同研究を実施している。更に、ノルウェー科学技術大学、米国テキサス大学とも膜開発の共同研究を実施しており、国際協力体制の下で研究開発を行っている。

\* 米国が、炭素隔離技術の開発と応用を促進するための国際協力を推進する場として提案した組織。日本を含む多数の国・地域が参加しており、CO<sub>2</sub>の回収、地中貯留等に関する多数のプロジェクトに対して支援を行っている。

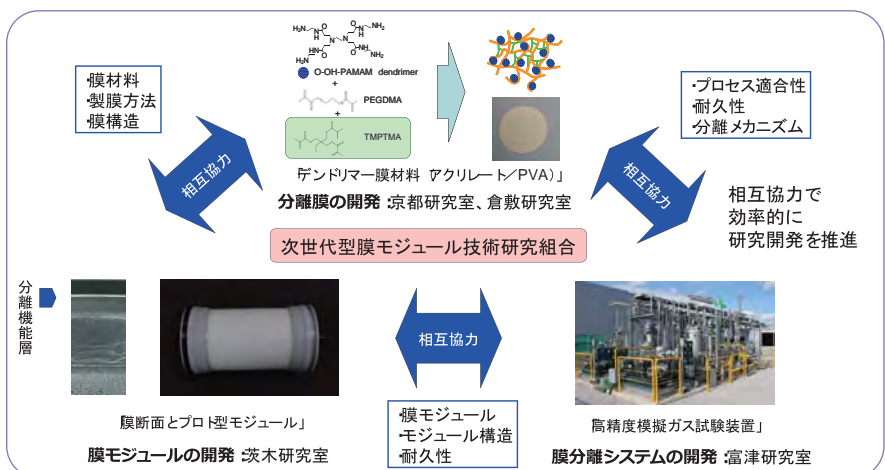


図7 民間企業との連携による膜モジュール化



#### 4. 固体吸収材の開発

地球温暖化対策としてのCCS技術は早期の実用化が期待されており、低エネルギー・低コスト型のCO<sub>2</sub>分離・回収技術の開発、および化学吸収法の実証試験や商業規模の事業検討が近年進められている。RITEは、これまでに蓄積した化学吸収法等のCO<sub>2</sub>分離・回収技術をベースに、平成22年度より経産省委託事業「二酸化炭素回収技術高度化事業」として、CO<sub>2</sub>高効率回収・低エネルギー消費型の固体吸収材の開発とプロセス評価技術の開発を実施中である。現在、固体吸収材を用いたCO<sub>2</sub>分離回収に適したより高性能な固体吸収材(目標とする分離・回収エネルギー1.5GJ/t-CO<sub>2</sub>)を見出すべく研究開発に取り組んでいる(図8)。

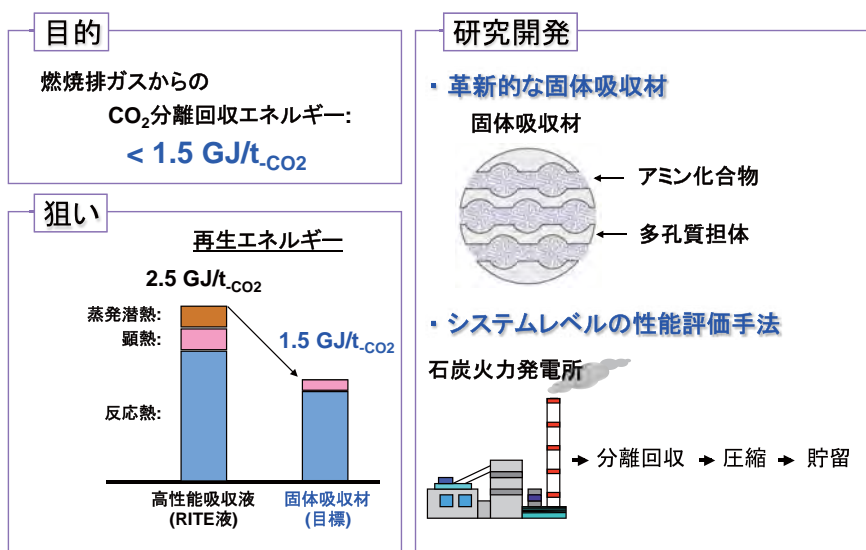


図8 二酸化炭素固体吸収材等研究開発

固体吸収材は、化学吸収剤であるアミンを多孔質支持体に担持させた固体(図9)で、アミンを水溶液として用いる化学吸収法と異なり、CO<sub>2</sub>解離に伴う蒸気エネルギー損失が無視できるためCO<sub>2</sub>分離・回収エネルギー低減の可能性がある。本プロジェクトでは固体吸収材によるCO<sub>2</sub>分離回収技術を石炭火力発電に適用した場合、化学吸収法に比べ発電効率の低下を約2%改善出来ると見込んでいる(図10)。固体吸収材の開発は、米国のNETL(National Energy Technology Laboratory)と平成24年5月にCRADAを締結し、RITE開発の吸収液を用いた新規固体吸収材の研究開発に着手した。本年度はNETLにおいてRITE開発液の液評価試験を開始した。RITEは、NETLとの技術交流を通して、RITEの化学吸収液開発技術を発展させた新規固体吸収材の開発を目指している。これまでに、RITE液をベースとして比較的低温で脱離性能の良い固体吸収材を開発し、その実現可能性を検証中である。

一方、プロセス評価技術の開発として、アミンとCO<sub>2</sub>の反応を考慮したCO<sub>2</sub>分離回収プロセスおよびCO<sub>2</sub>回収型の石炭火力発電システムのプロセスシミュレーション技術の構築を進めている。アミンを従来同様に吸収液として用いたプロセスに関しては、10t/dプラントでの実データを再現するプロセスシミュレータを構築した。今後、固体吸収材を対象とする検討に発展させる予定である。

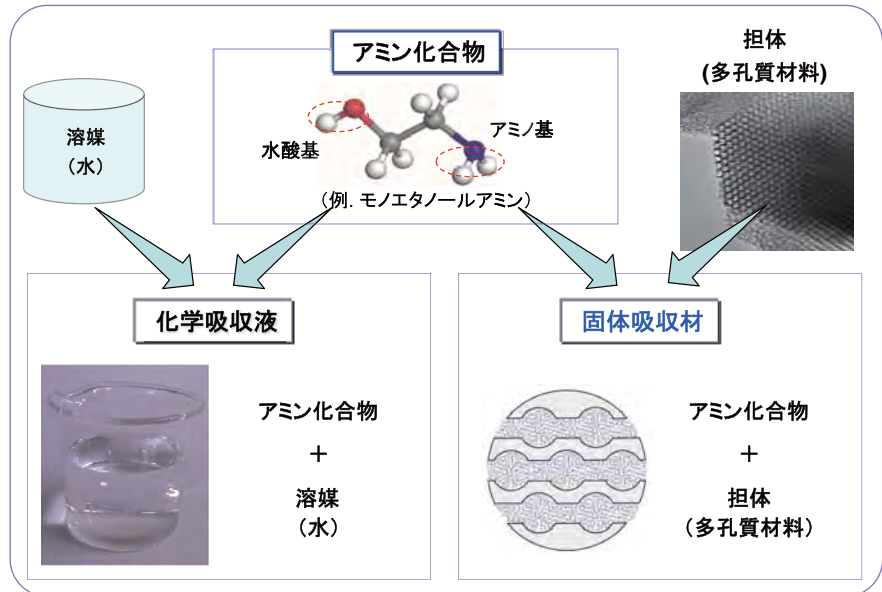


図9 固体吸収材の概念図

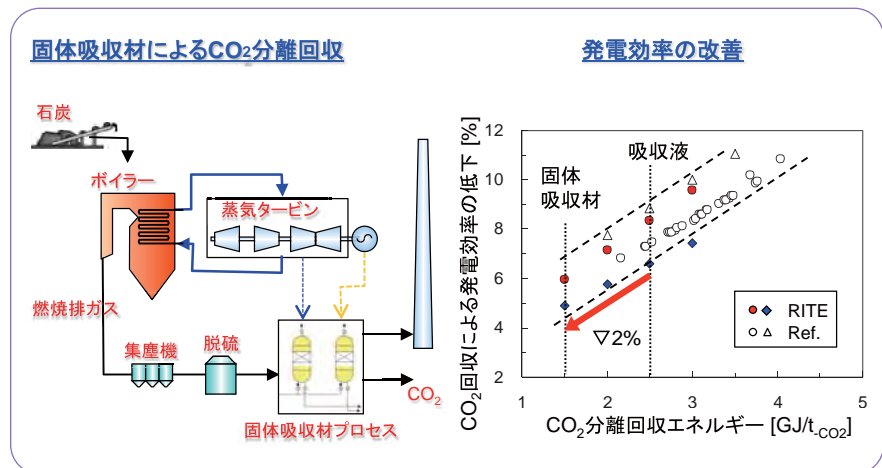


図10 固体吸収材によるCO<sub>2</sub>分離回収の発電システムへの影響

### 5. CO<sub>2</sub>排出削減技術開発への取り組み

RITE化学研究グループでは、これまで、放出されるCO<sub>2</sub>を回収・貯留するCCSのためのCO<sub>2</sub>分離・回収技術の研究開発を行ってきた。今後は、CO<sub>2</sub>排出そのものを削減する技術内容にも取り組んでいく。具体的には、自然エネルギーやバイオマス等の再生可能エネルギー由来のH<sub>2</sub>を、CO<sub>2</sub>を排出しないエネルギーとして使用するプロセスの構築を目指す。その中で、必要となるH<sub>2</sub>の分離精製のために、無機系H<sub>2</sub>分離膜開発に取り組もうと考えている。

さらに、エネルギー多消費型技術である蒸留法に代えて、分離に相変化を伴わない省エネルギーの膜分離プロセスを用いた有機溶媒系、炭化水素系の分離技術開発にも着手する。