

## 《 講演 2 》

### 次世代CO<sub>2</sub>分離回収技術の動向とRITEの取り組み

(財) 地球環境産業技術研究機構  
化学研究グループ  
グループリーダー  
風間 伸吾

#### 1. はじめに

CO<sub>2</sub>回収・貯留(CCS)の早期実用化と普及が望まれている中で、CCS に要するコストとエネルギーの削減が重要な課題のひとつとなっている。コストに関して、CCS 全体に占めるCO<sub>2</sub>回収コストは6割以上と言われておりCO<sub>2</sub>回収コストの削減はCCSの普及に重要である。この9月にオランダのアムステルダムで開催された温暖化対策技術会議GHGT-10でも多くのセッションがCO<sub>2</sub>回収に当てられており、国際的にCO<sub>2</sub>回収技術に注目が集まっている。本講演では、吸収法、膜分離法、吸着法に代表されるCO<sub>2</sub>回収技術における開発動向をRITEにおける取り組みを中心に紹介する。また、CO<sub>2</sub>分離回収技術の展望を述べる。

#### 2. CO<sub>2</sub>分離回収技術の動向

上述のGHGT-10では、CO<sub>2</sub>回収に関する19のセッションが開催された。その内訳は、燃焼後回収：9、燃焼前回収：2、純酸素燃焼：2、分離膜：1、ケミカルルーピング：1、その他：4であり、燃焼後回収に用いるアミン吸収液に関する報告が多かった。その内容は、パイロットプラント試験とシミュレーションに関する報告が多く、新しい吸収液を開発する内容よりも、既存の吸収液を用いて実用化を目指すための内容が多かった。アミン吸収法のCO<sub>2</sub>回収エネルギーは、条件にも因るが2.4GJ/t-CO<sub>2</sub>~2.8GJ/t-CO<sub>2</sub>との報告があり、吸収液そのものの改良よりもプロセスの改良で回収エネルギーを減少させる内容であった。

アミン吸収液を安心して使用するためには安全性に関する確認が必要となる。GHGT-10ではアミン吸収液の環境への影響に関する報告があり、今後は安全性の確認に関して期待が高まると考える。

燃焼前回収法では、高圧ガスからのCO<sub>2</sub>分離技術として吸着分離に関する研究開発の報告があった。分離膜では、酸素透過膜、アミン系高分子膜、パラジウム膜の報告があった。その他、米国MITから電気化学的にベンゾキノンを用いたCO<sub>2</sub>のキャリアーに用いるCO<sub>2</sub>分離の方法、酸化カルシウムをCO<sub>2</sub>吸収材に用いて再生に純酸素を用いるシステムの報告があった。

今年の7月に米国DOEは、分離膜、吸収液、固体吸着の10件を選定して、3年間で最大6,700万ドルの費用負担を行うと発表した。それらのテーマ中には、既存材料を用いるプロセス検討が多い。

#### 3. RITEにおける取り組み

RITEでは、1990年の設立当初からCO<sub>2</sub>分離回収技術の研究を行っており、今までに化学吸収法、吸着法、膜分離法で世界をリードする研究成果を挙げている。RITEでは、他の研究機関とは異なり、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。以下では、RITEにおける成果から化学吸収法と膜分離法を中心にその取り組みと研究開発成果に関して述べる。

化学吸収法は、CO<sub>2</sub>と化学的に反応する吸収液を用いる方法で、RITEではアミン化合物を用いた化学吸収液の開発とそのプロセス検討を行っている。図1に、製鉄所の高炉ガス中に含まれるCO<sub>2</sub>をアミン吸収法を用いて回収する研究開発であるCOCSプロジェクト(2005FY~2009FY)の成果を示す。COCSプロジェクトでは、従来のアミン吸収法に比較して半分のコストでCO<sub>2</sub>を分離回収することを目的に、新規アミン吸収液開発と製鉄所の未利用エネルギーの活用を目指して研究開発を行った。RITE

では新規アミン吸収液の開発とアミン吸収法のプロセス検討を中心に実施した。

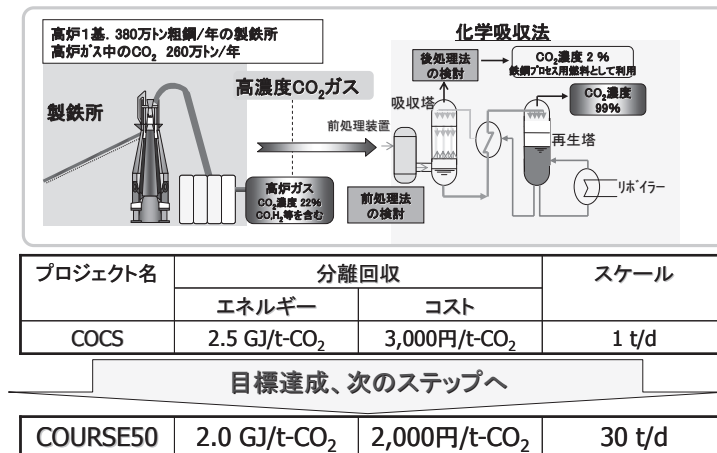


図1 アミン吸収液の開発

アミン吸収液の開発では、既存のアルカノールアミンをベースに合成化学と計算化学を駆使して、複数の新規なアミン化合物の開発に成功している。このアミン化合物を主原料に用いる RITE 吸収液を用いることで、3000t-CO<sub>2</sub>/day のプラントに換算した場合に CO<sub>2</sub> 回収エネルギーが 2.5GJ/t-CO<sub>2</sub> となる結果を得ている。更に、未利用エネルギーの効率的な利用を可能とすることで、高炉ガスから従来の半本のコストである 3,000 円/t-CO<sub>2</sub> で CO<sub>2</sub> を分離回収できることを確認している。この COCS プロジェクトのアミン液の開発成果は COURSE50 プロジェクトに引き継がれ、RITE では分離回収に要するエネルギーとコストの更なる低減を目指して、革新的なアミン吸収液の開発を行っている。

RITE における膜分離法の歴史は長く、1991 年に遡る。当時は、石炭火力発電所からの CO<sub>2</sub> 分離を目的に、高分子系分離膜、促進輸送膜の開発を行っていた。これらの研究成果を発展、活用して、2003 年からは CO<sub>2</sub> 分子ゲート膜の研究開発を実施している。図 2 に、CO<sub>2</sub> 分子ゲート膜の概念を示す。前述の高分子系分離膜では、CO<sub>2</sub> と分離対象となるガス(例えば、N<sub>2</sub> や H<sub>2</sub>)が共に分離膜を競争的に透過する。特に、H<sub>2</sub> は CO<sub>2</sub> よりも分子サイズが小さいことから高分子膜を透過し易く、CO<sub>2</sub> を選択的に透過分離する膜の開発は難しかった。

CO<sub>2</sub> 分子ゲート膜では、CO<sub>2</sub> と親和性を有する特殊な化合物を用いることで、気体が透過する膜中の通路を CO<sub>2</sub> が占有している。そのため、H<sub>2</sub> を含めて他のガスがその通路を透過出来なくなる。一方で、通路を占有した CO<sub>2</sub> は膜に与えられた圧力差で膜中を移動する。その結果、従来の膜では分離が難しかった CO<sub>2</sub> と H<sub>2</sub> の混合ガスからも高濃度の CO<sub>2</sub> を回収することが可能となる。

CO<sub>2</sub>分子ゲート機能 ⇒ CO<sub>2</sub>分子が他のガスの透過を抑制

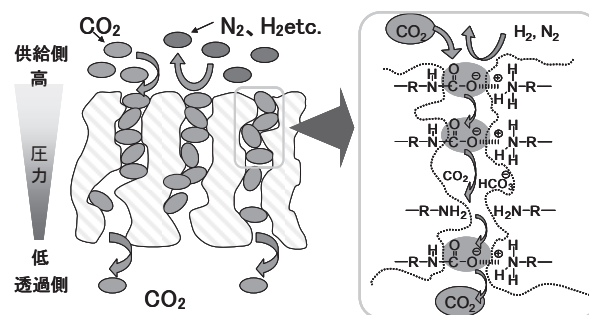


図2 CO<sub>2</sub>分子ゲート膜の概念

RITE では分子ゲート膜の材料として dendritic 分子に着目した (図 3)。Dendritic 分子とは樹木状 (Dendritic) の化合物の総称であり、RITE では図に示した既存の dendritic 分子の化学構造を分子ゲート膜の用途に最適化した新規な dendritic 分子の開発に成功している。一方で、Dendritic 分子は室温で液状の物質であり、分離膜として使用するためには固体状に安定に固定することが必要である。RITE では、特殊な高分子材料中に dendritic 分子を固定する方法を開発した。この dendritic 分子を含有する高分子材料を用いて、民間企業と協力して中空糸膜を用いるモジュール、平膜を用いるスパイラス型モジュールの開発を実施している。

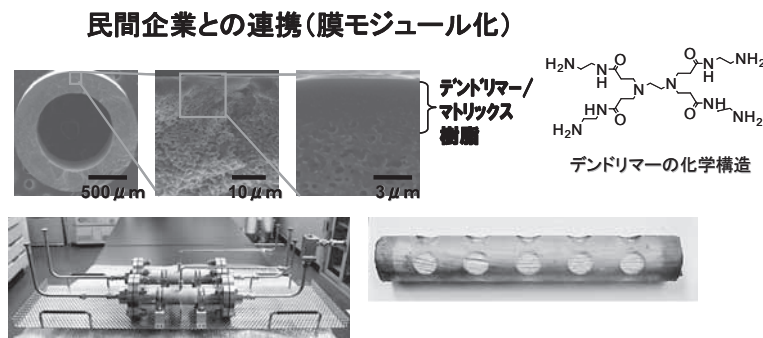


図 3 dendritic 分子を用いる分離膜の開発

その他 CO<sub>2</sub> 分離回収技術の取り組みとして、疎水性吸着剤、高压ガス用吸収液、固体吸着材の開発、更に、超臨界 CO<sub>2</sub> を活用する革新的な CO<sub>2</sub> 分離膜の開発を実施している。RITE が開発した疎水性吸着剤は、代表的なゼオライトである 13X が水蒸気共存下で CO<sub>2</sub> 吸着量が著しく低下するのに対して、水蒸気共存下でも優れた CO<sub>2</sub> 吸着量を維持する。その結果、吸着前の脱水プロセスが不要となり約 3 割のコスト削減が可能となる。

#### 4. まとめと展望

CCS コストの 6 割以上を占める CO<sub>2</sub> 回収コストの削減は CCS の普及に極めて重要であり、そのためには次世代を担う革新的な技術の開発が必要である。合わせて、既存の CO<sub>2</sub> 回収技術を安心して使用できる環境を整えることが重要である。

多様な CO<sub>2</sub> 発生源に対し、最適な CO<sub>2</sub> 回収技術の選択が大切である。CO<sub>2</sub> 発生源は大気圧 (低圧) と加圧のガス源に大別され、それぞれで異なる規模のガス源が存在する。化学吸収法は大気圧 (低圧) の大規模なガス源に向いている。一方で、膜分離法は高压で大規模から中規模のガス源に向き、吸着法は高压で中規模のガス源に向いていると考える。CO<sub>2</sub> 発生源に最適な分離方法を選択することで CO<sub>2</sub> 回収コストを下げることが可能となる。また、回収した CO<sub>2</sub> 濃度もコストに影響する。日本では、化学吸収法で回収する CO<sub>2</sub> の濃度は 99% 以上を求められるが、圧入する CO<sub>2</sub> 濃度がより低い条件では CO<sub>2</sub> 回収コストを下げることが可能となる。即ち、CO<sub>2</sub> 源と CO<sub>2</sub> 貯留サイトに応じて CO<sub>2</sub> 回収方法と操作条件を最適化することで、CO<sub>2</sub> 回収コストを最低に抑えることが可能となる。

コストの検討では、CO<sub>2</sub> 回収部分のみでなく全体システムを考えることが重要である。例えば、圧力ガスから CO<sub>2</sub> を回収する場合、圧力を有した状態で CO<sub>2</sub> を回収する場合のコストは大気圧放散して CO<sub>2</sub> を回収するコストに比べて割高となるが、CO<sub>2</sub> 圧縮までを含めたコストは割安になる可能性がある。

早期の実用化には、用途展開も重要である。例えば、燃焼前回収用途で開発した圧力を有するガスからの CO<sub>2</sub> 回収技術は、天然ガスからの CO<sub>2</sub> 回収に応用することで CO<sub>2</sub> 分離回収技術の早期実用化が可能となる。