

＜報告＞

メインテーマ：カーボンリサイクル（CO₂分離回収・有効利用技術）

日 時：2024 年 7 月 13 日(土) 13:00～17:00 参加者： 59 名
場 所：アーバネックス備後町ビル3階 ホール CPD： 4 時間

基調講演 膜分離による CO₂分離回収の最前線

講 師： 谷口 育雄氏 京都工芸繊維大学 繊維学系 教授



谷口 育雄氏

（１）CCS（CO₂ Capture and Storage：CO₂回収貯留技術）

世界的に気候変動は深刻であり、COP3 や COP21 で議論され地球温暖化の抑制には CO₂ 濃度低減が共通認識である。CO₂ 削減には省エネ、再エネに加えて CCS が有効であり、世界中で取り組まれ、実証試験が行われている。

日本の CO₂ 排出量の多くを占める火力発電所で発生する CO₂ の処理に関して、CCS における貯留技術について RITE（地球環境産業技術研究機構）が行った CO₂ の地中貯留（1-3km）の有効性、安全性について実証試験を行った内容を紹介された。

（２）CO₂分離膜の開発

CCS および後述の CCU の両者ともに CO₂ の分離・回収技術が重要であり、その実用化のためにはコスト低減が課題である。これまでに様々な CO₂ 分離回収技術が検討されており、それらには化学吸収法、物理吸収法、固体吸収法、膜分離法等があるが、エネルギー／コスト面では膜分離法が有利であり、1000 円台／t-CO₂ の分離・回収コストが見込める。膜分離法は追加エネルギーが不要で省スペースかつ簡便なプロセスで取り扱うことができ、現在の課題は分離性能の向上である。また、世界における CO₂ 分離プロジェクトでも膜分離法が進められている。

講師のグループは、低コストで容易に大面積化できることを目的とした分離膜の研究開発を行っている。CO₂ と相互作用のあるアミンを用いた分離濃縮技術に着目し、特定アミン(AEAE)を相溶性のあるポリビニルアルコール(PVA)に固定した平膜を用いて分離性能の有効性を評価し、その結果が解説された。火力発電に適用できる実用化を目指したスケールアップ(大面積化)のために市販の中空糸膜(水処理用 UF 膜)の表面に AEAE と PVA の混合物をコーティングした中空糸膜モジュールを開発し、その特性が解説された。これらは現在 NEDO の事業において実証実験が進められている。

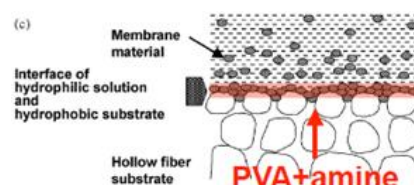


図 分離膜表面のモデル図

（３）CCU（CO₂ Capture and Utilization：CO₂回収・利用）

CCS のみでは事業性が乏しいが CCU については国内外で開発が進められており、化学品の原料とすることが検討されている。これについては次のパネルディスカッションで議論された。講師はバイオガスからカーボンフリーH₂の製造について注目しており、これの説明があった。

質疑応答

分離膜の実用化(大面積化)にあたって、膜の欠陥抑制や孔制御の方法についておよびアミン・PVA 膜における CO₂ 透過メカニズム、特に CO₂ 脱離段階についての質問が有り討議された。

（文責：太田昌三 監修：谷口育雄）

パネルディスカッション

1. 4組織所属の技術士によるパネラー講演

講演1 CO₂分離技術と繊維（CO₂回収・分離中空糸膜について）

講師： 西中 久雄 氏（繊維部門）JTCC 理事長



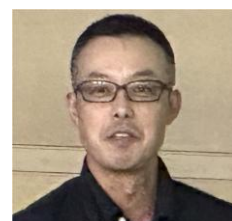
西中 久雄氏

経済産業省からカーボンリサイクルロードマップが公表されている。その中に CO₂ 分離・回収技術として吸着法と膜分離法が示されている。分離・回収コストは CO₂ 1 トン当たり吸着法等では 4,200～2,000 円台であるが、膜分離法では 1,000 円台と安く、開発が加速されている。NEDO の技術開発補助事業の膜分離法技術開発では、CO₂ 分離・回収は低コストの膜方式が有力で、平膜と中空糸膜の両方で検討が進んでおり、企業や大学での膜分離法を活用した CO₂ 分離・回収技術と九州大学や東北大学の DAC(直接空気回収)技術に加えて、既存 CO₂ ガス関連会社の酸素・窒素・水素やメタン分離技術も含めカーボンリサイクルについての取り組みが紹介された。

今後、CCU に向けた課題として、分離・回収に加えて最終物質までのトータルシステム構築、収率向上等が挙げられると述べられた。

講演2 炭酸ガス施用の栽培事例と課題

講師： 赤木 知裕 氏（農業部門）農林水産部会幹事



赤木 知裕氏

施設園芸は、ガラス温室やプラスチックハウス、ビニールシートで囲ったハウス内で、野菜、花卉、果樹などの作物を栽培する。高度な技術と集約的な管理を伴い、農業経営の一形態として発展してきている。その一例として紀の川市あゆみ農園が行っている給湯器を利用した CO₂ 施用による野菜の多収技術の紹介があった。施設園芸内の CO₂ 濃度を 400ppm に維持し制御することで収量アップにつながる。

オランダでは CO₂ ガスボンベを利用した施設園芸が整備されており、日本と比較してトマト収量で 5 倍、労働生産性で 9 倍との大きな差があるとの説明があった。

今後、日本の施設園芸の拡大発展には CO₂ 施用等のインフラ整備と人材育成、国や自治体の支援が重要であると締めくくられた。

講演3 本気のカーボンリサイクルを考える

講師： 高岡 直樹 氏（化学部門）化学部会幹事



高岡 直樹氏

国内の CO₂ 市場は、ここ 10 年以上大きな変化がなく約 100 万トン/年である。エネルギー庁がカーボンリサイクルロードマップを公表しており、CO₂ 排気ガスをそのまま利用する方法と分離回収する方法からなる。分離回収された CO₂ は、ドライアイス製造や石油増進回収で利用されるほかにカーボンリサイクル（以下、CR）されるものに分かれる。

CR は、無機鉱物（セメント、コンクリート）、化学品（ポリカーボネート、尿素）、燃料（メタノール、メタン）などがあり、それぞれ化学品フロー図を用いて詳細な説明があった。

JOGMEC（エネルギー・金属鉱物資源機構）調査によると日本は欧米と遜色なく CR 技術に取り組んでいる。また、オンサイト型、中小規模分散型等の産業間連携で CR に取り組んでいる事例の紹介があった。

講演4 IPCC/COP28 とカーボンプライシング

講師：吉田 悟氏 環境研究会幹事

2023年に公表されたIPCC(気候変動に関する政府間パネル)第6次報告書では産業革命以降1.1℃の温暖化を報告している。第7次報告書は2027年頃の公表に向け取り組まれており、トピックスとして、都市、短寿命因子、CDR(Carbon Dioxide Removal)、CCUSがあげられている。CDR(CO₂除去)では海洋が温暖化に及ぼす影響が検討されている。



吉田 悟氏

日本のカーボンプライシングは、他国に比べ遅れており、2023年10月に炭素クレジット市場が設立されたが、年間14万トンと取引高は低い。一方、GX成長戦略が2023年2月に閣議決定され、2050年のカーボンニュートラルに向けて20兆円の債権をもとに民間に10年間で150兆円資金を投じてCO₂削減の技術開発計画の紹介があった。

(文責：奥村勝、監修：西中久雄、赤木知裕、高岡直樹、吉田悟)

2. パネル討議 (小型) 発電所排ガス用途の技術評価

座長：伊藤 雄二氏 化学部会長

討議参加：基調講演講師、パネラー4名

本討議では、基調講演で示された「CO₂膜分離技術」を利用して、火力発電所排ガスから得られる濃厚CO₂を、植物工場・化学肥料製造・合成ガス燃料製造等に利用した場合(図1参照)の技術評価を試みる。天然ガス燃焼による火力発電所を想定し、分離膜により90%の高濃度でCO₂を分離回収と仮定した。



伊藤雄二氏

(1) 一次技術評価(定性)：濃厚CO₂を植物工場に利用した場合の便益とリスクについて討議

便益に関しては、施設園芸農家は規模が小さいところが多いため、ある程度の規模でCO₂備蓄を行う仕組みができれば、相応の便益が得られると考えられる。

一方、火力発電所からの排ガスには、CO、SO_x、H₂Sなどの有害物質が含まれるリスクがあるが、無害化・吸着するための装置を備えておくことで、リスクを最小化することは可能である。

また、採算性の観点では、CO₂分離膜法は従来のアミン吸収液法の半分以下の低コストを既に達成しており、今後も技術の進歩に伴ってコストダウンが進んでいくと予想される。

これらの討議において、図2のような想定質問、及び、それに対する対応についても座長より示された。また、考慮すべき国内法としては図3の各法律が例示された。

以上の討議結果から、定性的には本技術の有用性が示されたと考える。カーボンリサイクルからアップサイクルへの発想転換が重要となるが、その手段として植物工場が適切かどうかについては、基礎的なデータをさらに収集し、経済性評価を行う必要がある。

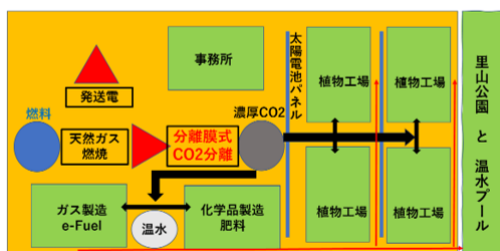


図1 火力発電所排ガスからCO₂を分離回収し、植物工場等に利用する想定例

パネル討議(7/13)での想定質問と対応

1. 火力発電所を中心に据えるコンビナートは、反対されないか> 発想の転換：カーボンリサイクルからアップサイクルへ！ 火力プラントからの排出物を植物工場にて活用
2. これに関連する国や自治体の立法機関にて、反対されないか> 発想の転換：再生不可能燃料でも再生可能燃料に変身へ！ 未来のデザインを、若い世代で競うイベント
3. 技術評価で終わるのではなく、経済性評価も期待できるか> 各パネラーからコメント 経済性評価には、基礎的なデータ収集が不可欠(座長)

図2 想定質問と対応

パネル討議『(小型)発電所排ガス用途の技術評価』 国内法からの視点	
1. 「温対法」 (最終改正2022年)	温室効果ガス抑制 主なターゲット: CO ₂ ; 目標: 46%削減(2013年度比2030年度) 国際的な取り組み(COP)との整合 地方自治体の取組 「地産地消のエネルギー」「再エネ導入」「排出量公開」
2. 「省エネ法」 (最終改正2023年)	需要サイドの事業者などでのエネルギーである燃料・熱・電気の省エネ 削減目標1%/年 エネルギーの対象を化石燃料から非化石燃料も加えて 電気需要の適正化
3. 「GX脱炭素電源法」 (施行2023年)	電気事業法の改正法 電力の安定供給に加えてクリーン電源の普及 地域と共生した再エネの最大限活用
4. 「水素社会促進法」 (成立2024年5月)	対象物質: 水素及びその化合物(アンモニア、合成メタン、合成燃料) 価格差に着目した支援
5. 「CCS法」 (成立2024年5月)	産業活動にて発生するCO ₂ を他のガスと分離して回収し貯留する事業 貯留層が存在する可能性のある特定区域を定めて、鉱物法にて許可

図3 国内法からの視点

(2) 二次技術評価 (定量): 火力発電所排ガス利用の CCU/CCS について定量化を行う

図4に示す基礎データを基に、本事例での CCU/CCS について定量化を試みる。最低限規模の火力発電所として発電量 1 万 kWh を仮定する。CO₂ 排出量 (CCS 理論値) は 3 万トン/年と見積もられるため、植物工場、化学肥料製造 (尿素)、合成ガス燃料製造 (合成メタン) のそれぞれに 1 万トンずつ割り振って利用することを想定する。

植物工場について、現状の日本でのパブリカ温室栽培での実績値から推定した理論計算により、CCU/CCS は 2%程度となった (CO₂→バイオマス (農産物とバイオ燃料) への転換比率)。一方、尿素合成では化学量論式からは CO₂ を全て反応させて同量以上の尿素が得られるため、CCU/CCS としては 100%以上が可能。合成メタン製造の場合は、10%以上 (CO₂ 投入量に比例するとして 3 倍の 30%までは可能) と算出された。

以上から、化学肥料製造、合成燃料製造並びに植物工場での CCU/CCS 合算値としては 30-40%となり、本技術評価での目標値を 10%とおいた場合、合格と評価できた。

パネル討議『(小型)発電所排ガス用途の技術評価』 基礎的なデータ	
1. 火力発電所の規模: 小型火力発電所 1 万-10 万 kWh (注) 大型 ≥ 11.25 万 (環境影響評価対象)	
2. 1 万 kWh と as CO ₂ 換算	CO ₂ 排出量 (CCS 理論値): ca 3 万 t/y (換算係数 0.415 * 8000h) 小口発電売価: 1-10 円/kWh; CCS 値 ca 300 万 \$/y (コストターゲット 100 \$/トン * ca 3 万 t/y)
3. 植物プラントの CCU 基礎計算: パブリカ栽培面積 1000 m ² 商品 1.5-1.6 トン (植付-収穫: 3-6 月)	6CO ₂ (Mw44) + 6H ₂ O = (CH ₂ O) ₆ + 6O ₂ CCU(商品): 1.6%; CCU(バイオマス)?
4. 化学 (尿素) 合成の換算理論値 (1 万 T/y as CO ₂ 利用): 1.2 万 T/y ; NH ₃ 消費理論値: 0.77 万 T/y	CO ₂ (Mw44) + 2NH ₃ = NH ₂ -CO-NH ₂ (Mw56) + H ₂ O
5. eFuel (合成メタン) の換算理論値 (1 万 T/y as CO ₂ 利用): 0.12 万 kWh ; H ₂ 消費理論値: 0.22 万 T/y	CO ₂ (Mw44) + 2H ₂ = CO + H ₂ + H ₂ O ⇒ CO + 3H ₂ = CH ₄ (Mw16) + H ₂ O

図4 二次技術評価 (定量): 基礎的なデータ

(3) まとめ

今回討議した CCU/CCS 値の算出が、CCUS の技術評価として興味深い手法であることが示され、上記合算値は、プラントコンビナートを提案できるレベルと見做した。個別にみると、植物工場での 2%の数値は低い。ただ、世界的にみるとまだスタート台であり、生産規模の拡大などに向けた資金投入や種々の技術面での収量アップはありえるため、農林水産物の伸びしろは大きい。合成メタン製造にて 10%台という評価値は、再生不可能燃料の天然ガスにとっては、その分、再生可能燃料に転換できることを示した意義は大きい。加えて、プラントコンビナート内での動力源を再生可能燃料で賄える可能性もある。いずれの事項も今後の展開に期待したい。

(文責: 中田将裕、監修: 伊藤雄二)