

# TECHNORIDGE

2026 341



特集

カーボンニュートラル その2

## TECHNORIDGE

2026 341



## 目次

巻頭言 .....	2
「CO <sub>2</sub> 排出量削減」の第一歩としての省エネ .....	3
バイオ炭はじめませんか？ .....	4
CO <sub>2</sub> の化学変換 .....	6
機器紹介 .....	8

「CO<sub>2</sub> 排出量削減」と「CO<sub>2</sub> 回収・除去」の両輪

編集担当  
藤井 亮

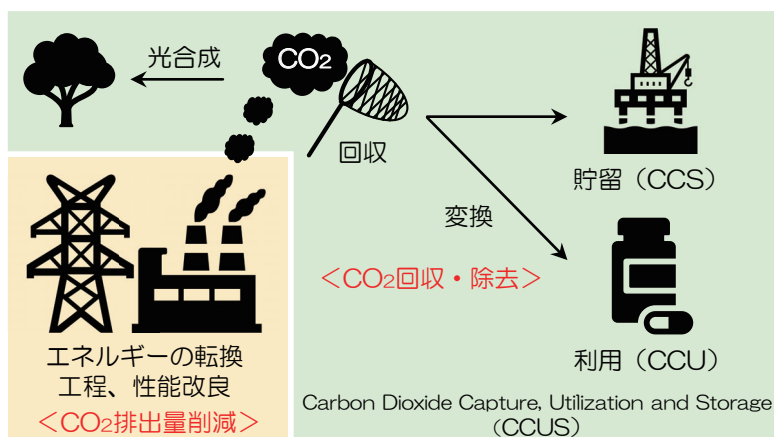
前号（340号）ではカーボンニュートラル（CN）に向けて、「知る」「測る」ことについて情報をご提供いたしました。本号は、温室効果ガスである二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）を「減らす」ことについての特集です。

「減らす」と言っても、その中身は「CO<sub>2</sub> 排出量削減」と「CO<sub>2</sub> 回収・除去」に大別できます。「CO<sub>2</sub> 排出量削減」は、エネルギーの転換（化石資源⇒クリーンエネルギー）や製造工程の改善等で実践していくことが可能です。一方で、排出量を削減してもそれがゼロでなければ CO<sub>2</sub> は大気中に放出されていますし、脱炭酸等、製造工程でどうしても CO<sub>2</sub> が発生することもあります。それらもゼロにしなければ、CO<sub>2</sub> は実質的なニュートラル（±0）にはなりません。そのため、CO<sub>2</sub> 排出量削減に加えて「排気ガスや空気中に含まれる CO<sub>2</sub> を回収し、大気中から CO<sub>2</sub> を除去する」必要があります。

自然界では、植物の光合成がそれに当てはまります。しかも、植物は食物や、木材等の素材にもなるので、「CO<sub>2</sub> 回収・除去」と「ものづくり」を両立している一例とも言えます。ただし、光合成による CO<sub>2</sub> 削減効果は若木の時期が高く、成長するにつれて減少する傾向があるため、光合成のみで CO<sub>2</sub> 削減を達成しようとすると大規模な伐採と植林のサイクルが必要となります。

化学的な方策としては二酸化炭素回収・利用・貯留（CCUS：Carbon Dioxide Capture, Utilization and Storage）が近年注目されています。これは大気中に放出された（される）CO<sub>2</sub> を吸収剤、吸着材、分離膜等を用いて捕集・回収し、それらを貯留するか、別の化成品やポリマーに変換することで大気中の CO<sub>2</sub> を削減する方法です。CN を達成するためには、一つの方策ではなくあらゆる手段を動員することが肝要です。また、前号でご紹介した様に CN にフィックスした体制・技術開発は今後のビジネスにおいても大きなチャンスと言えます。

本号では、当センターで取り組んでいる事例の一部として、CO<sub>2</sub> 排出量削減の観点から省エネ、CO<sub>2</sub> 回収・除去の観点からバイオ炭、CO<sub>2</sub> 変換反応についてご紹介いたします。前号と併せて、ご参考になりましたら幸いです。





# 「CO<sub>2</sub>排出量削減」の第一歩としての省エネ

企画総務部（地域資源活用部） 宮本 昌幸

## はじめに

事業活動においてCO<sub>2</sub>排出量を削減するための第一歩は何かと聞かれた場合、その答えとして「省エネに取り組むこと」を挙げることができます。省エネを行うメリットとしては、燃料や電気などエネルギー使用量の削減に伴う大幅なコストカットによる利益の確保になります。また、排出係数を用いてCO<sub>2</sub>排出削減量を計算することもできますので、CO<sub>2</sub>排出量削減にもつながります。今回は、CO<sub>2</sub>排出量削減への取組の第一歩である省エネについて紹介します。

## 省エネとは？

省エネという言葉を使い換えると、エネルギー使用の合理化を図るということになります。その取組は、大きく4つに分けることができます。まずは、エネルギーを使わないことです。例えば、夜間・休日に動かさない機器の電源を落とすことが挙げられます。次に、エネルギーロスを削減することです。蒸気配管の保温を実行し、外へ逃げる熱の損失を防ぎ機器の運転条件の適正化を図ることでエネルギーロスを削減できます。3番目は、エネルギーを捨てずに再利用することです。蒸気ドレンと呼ばれる高温の凝縮水、プロセスから排出される熱排水を熱交換器の熱源として回収・再利用することなどです。最後に、設備投資を行い機器・装置を高効率・省エネ型に更新することです。これらの中から、コストやメリット、効果などに合わせて何から省エネに取り組めば良いか考えていくこととなります。

## 省エネ診断

何から省エネに取り組めば良いか分からない場合は、専門家による省エネ診断をおすすめします。専門家による省エネ診断については、省エネルギーセンターの「省エネ最適化診断」や省エネお助け隊の「省エネ診断」

等が国の事業として実施されています。当センターでは2017年2月に省エネルギーセンターの省エネ診断（現省エネ最適化診断）を受診し（図1）、年間約460kl（原油換算値）のエネルギーを消費し、約949tのCO<sub>2</sub>を排出していると診断されました。

診断における省エネ提案内容は、設備の運用方法の見直しによる改善、投資回収年5年以下の短期的及び投資回収年5年超の中長期的な設備投資が必要な改善等になります。当センターでは、診断結果を基に空調設備の運用改善を行った結果、夏期（7月～9月）における積算電力量を前年比2割削減することができました。

## 省エネの見える化

省エネの見える化として熱画像を挙げるすることができます。図2の様に蒸気ヘッダの保温効果を視覚的に確認することが可能となります。テクノリッジ316号に省エネ分野における熱画像の活用例を紹介していますので、ご参照ください。

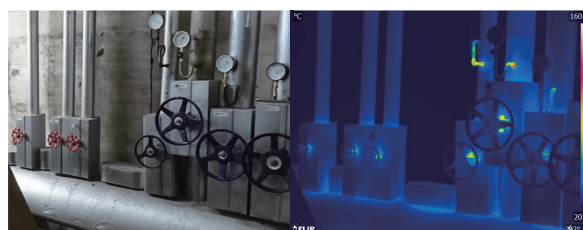
電力量のモニタリングも省エネの見える化として適しております。図3は当センター恒温恒湿室の温湿度計と空調設備の電力計を常時モニタリングしている画面です。前述のとおり、空調設備は消費電力量が大きく、設備の運転条件と運転中の消費電力は大きく影響します。消費電力をモニタリングすることは、消費電力を抑えかつ合理的な運用につながる事が期待できます。

## おわりに

CO<sub>2</sub>排出量削減の第一歩である省エネについて、専門家による診断及び計測機器による見える化を紹介しました。当センターでは専門家への橋渡しとなる相談対応や熱画像計測による省エネ効果測定等を行っておりますので、是非ご活用ください。



図1 省エネ診断



(a) 蒸気ヘッダ

(b) 熱画像

図2 保温された蒸気ヘッダ及びその熱画像

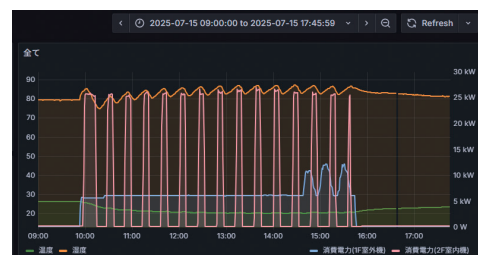


図3 恒温恒湿室のモニタリング画面

# バイオ炭はじめませんか？

地域資源活用部 宮崎 崇

## はじめに

「バイオ炭」という言葉を聞いたことはありますか？炭を燃料として使用するのではなく、大気中から CO<sub>2</sub> を隔離・除去（CCS）する目的で使用する際の呼び方を「バイオ炭」といいます。

2019 年の IPCC\*ガイドラインでは「バイオ炭」のことを「燃焼しない水準に管理された酸素濃度の下、350℃超の温度でバイオマスを加熱して作られる固形物」と定義しています<sup>1)</sup>。難しい言葉が羅列してありますが、単純に 350℃超の温度で作られた一般的な炭のことであり決して特別な炭ではありません。では、単純な炭がなぜ CCS となるのでしょうか？

※IPCC：Intergovernmental Panel on Climate Change（気候変動に関する政府間パネル）

## バイオ炭による CCS

巻頭言にもありますように、植物は光合成により、大気中の CO<sub>2</sub> を吸収して成長します。しかしながら植物は食べられったり、枯れて腐ったり、燃えてしまうとせっかく植物に固定化した炭素が大気中に放出されてしまうため、長いスパンで考えると安定的に CO<sub>2</sub> を隔離・除去するのは困難といえます。一方で炭は非常に安定な物質です。日本の森林や熱帯雨林など、自然土壌の中に過去の火災によってできた炭が分解されずに大量に残っている例は多く見られます。また遺跡などから、炭化した物体が発掘される例も多くあり、和歌山県でも豊臣秀吉の紀州征伐において焼き討ちされた根来寺から炭化した米や、お椀等の木製品が大量に出土しているそうです。よって、大気中の CO<sub>2</sub> を吸収した植物を一度炭化して安定な物質に変えたうえで、これを土中に埋めれば、長期にわたり CO<sub>2</sub> を隔離・

除去することが可能になります。この「炭の土中への埋設」がバイオ炭による CCS となります（図1）。

炭を土に埋めるだけです。特別な技術や設備を必要とせず、誰でも今すぐに低コストで実施可能な手法です。また本手法は 2018 年に IPCC において二酸化炭素除去方法の一つとして明記され、国際的なコンセンサスが得られています<sup>1)</sup>。

## 炭を土に埋めて大丈夫？

「炭を土に埋める」と書きましたが、そもそも炭を土に埋めて環境への悪影響はないのでしょうか？

高校で日本史を専攻されていた方は、江戸時代前期に書かれた、宮崎安貞著の「農業全書」を聞いたことがあるかと思います。「農業全書」は宮崎安貞が近畿地方を中心に諸国を旅した見聞（紀州にも来ています！）などをともに、農業技術を体系的に解説した本であり、木版本として広く世間に流布して明治時代中期まで再版され続けた大ヒット本です<sup>2)</sup>。この「農業全書」の中に、炭を土壌改良剤として利用することが記載されており、古くから炭を土に混ぜて農業へ利用していたことがわかります。炭を農業に用いてきた長い歴史の中で、炭により害が出たという報告はないことから、環境への大きな影響はないと考えられています。

一般的に炭を土壌改良剤として用いると、酸性土壌の中和や透水性や保肥性の向上、微生物の活性化等に効果があるといわれています。そのため農地に炭を大量に埋設すると、肥料や苦土石灰の使用方法を調整する必要がでてくると予想されます。そこで現在、バイオ炭施用による稲や大豆、野菜、果樹等様々な農作物への影響を調査する研究が広く行われています<sup>3)</sup>。

また国も炭の農地への施用を推進しております。環境省のホームページにある地球温暖化対策計画によると、バイオ炭の農地への施用は堆肥や緑肥等有機物の農地施用などとともに、炭素の農地土壌吸収源として位置づけられており、炭素の貯留量は 2030 年で 850 万トン（CO<sub>2</sub> 換算）を目標としています。これは農業分野の温室効果ガス排出量の約 16%に相当する削減量となっています<sup>4)</sup>。バイオ炭による土中への炭素貯留量は IPCC により計算方法が定められており、原材料のバイオマス種と炭化温度がわかれば計算できるようになっています<sup>5)</sup>。

## バイオ炭のカーボンクレジット

「バイオ炭の農地への施用」はカーボンクレジットとして用いることも可能です。カーボンクレジットとは省エネ・

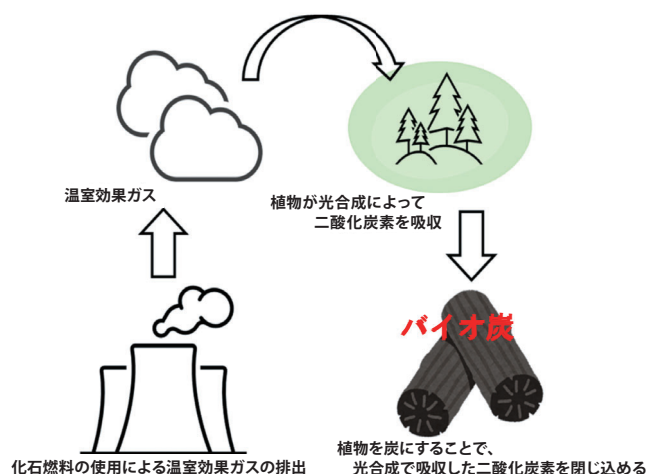


図1 バイオ炭 イメージ図 2)



再エネ設備の導入や森林管理等による温室効果ガスの排出削減・吸収量をクレジットと認証する制度のことです<sup>7)</sup>。  
クレジットは売買することができ、企業が省エネや再エネ活用などで排出量の削減努力をしても削減しきれない部分を、相殺（オフセット）する目的等で購入するなど、カーボンニュートラルを実現するための経済的手段のひとつとして知られています。（図2）

カーボンクレジットは省エネや再エネの利用などの「削減系クレジット」や森林などの「吸収系クレジット」等、その性質により分類されています。その中で「バイオ炭の農地への施用」は二酸化炭素除去という意味で「除去系クレジット」と呼ばれ、比較的高値で取引される傾向にあり、欧米では1トンCO<sub>2</sub>あたりUS\$300~600で取引されております(1トンCO<sub>2</sub>=バイオ炭約300kg(ドラム缶約2本)の施用)。残念ながら日本ではまだその価値が十分に認識されておらず、高価格での取引が難しい状況ですが、今後の発展が期待されています。

## SDGs 未来都市みなべ町の取組

和歌山県内でもバイオ炭への関心が高まりつつあります。みなべ町は、2024 年に国の「SDGs 未来都市」「自治体 SDGs モデル事業」に選ばれ、取組の一つとして、梅剪定枝のバイオ炭化を行い、環境に配慮した持続可能な循環型農業のシステムの構築を目指しています(図3)。

みなべ町内の梅剪定枝の量は年間 12,720 トンと推測されています。これを全てバイオ炭化し、農地施用した場合、付随的排出量（梅剪定枝の調達から製炭、農地への施用に至る過程で使用する電気・燃料等から発生する CO<sub>2</sub> 排出量）を差し引いても年間の炭素貯留量は 2,918 トン CO<sub>2</sub> と莫大な量になると試算されています。

さらに、バイオ炭を施用した農地で栽培した農作物や加工食品のカーボンフットプリントを算定することで、製品の環境価値を可視化してブランド化する新たな展開も目指

しているそうです。

当センターでは、バイオ炭の炭質、炭素貯留量評価について研究を行っており（テクノリッジ 335号記載）、みなべ町の取組にも標準的な梅剪定枝炭の評価を行う目的で参画しております。

おわりに

私は子どものころ、日本国民全員から1円ずつもらえれば一生遊んで暮らせるのに・・・と本気で考えておりました。今は日本国民全員が炭を1kg 土中に埋めれば、数十万トンの二酸化炭素を大気中から除去できるのに・・・と夢想着います。地球の温暖化はもう待ったなしの状態になっています。繰り返しになりますが、「バイオ炭」は特別な技術や設備を必要とせず、誰でも今すぐに実施可能なCCSです。塵も積もれば山になります。和歌山県内には梅剪定枝以外にも、未利用のバイオマスが数多くあるかと思っています。みなべ町のようなバイオ炭利用がさらに広まってくれることを期待しています。皆様も今日からバイオ炭をはじめてみませんか？

## [参考文献]

- 1) 岸本文紅 (2022) 日本 LCA 学会誌 ,18(1)36-42
- 2) 立命館大学 カーボンマイナスイニシアティブプロジェクト (2025)  
柴田教授講演資料より抜粋
- 3) 宮崎安貞 農業全書 (1697) 岩波文庫  
ISBN9784003303313
- 4) バイオ炭の農業利用事例とその活用ガイドブック (2025)
- 5) 環境省 地球温暖化対策計画 別表 5-6
- 6) IPCC 2019 年方法論報告書 (2006 年 IPCC 国別温室効果  
ガスインベントリガイドラインの 2019 年改良)
- 7) J-クレジット制度 公式 web サイト  
(<https://japancredit.go.jp>)

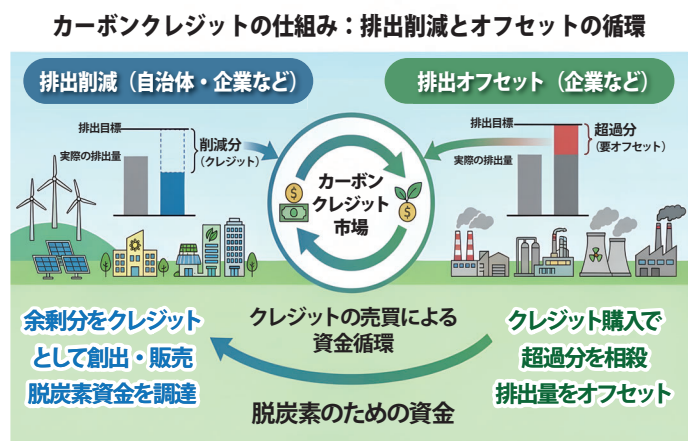


図2 カーボンクレジットイメージ

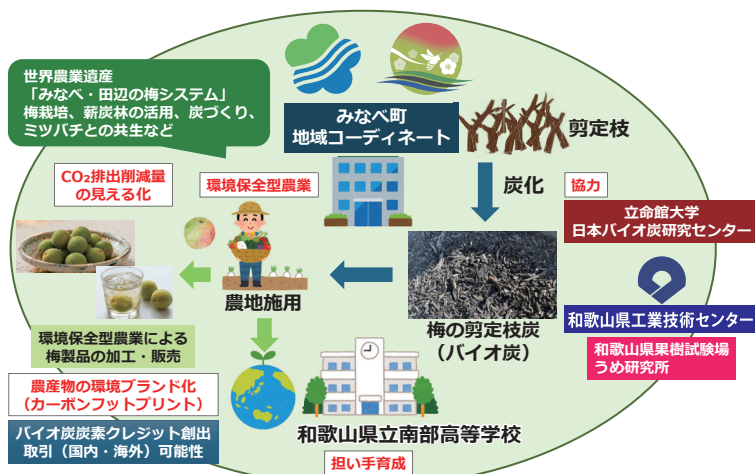


図3 みなべ町のSDGs未来都市計画イメージ

## はじめに

大気中に豊富に存在し、低毒性である CO<sub>2</sub> は、有機合成の分野では魅力的な C1 ビルディングブロックとして注目され、多種多様な CO<sub>2</sub> の化学変換が報告されてきました。この化学変換は CO<sub>2</sub> を直接減らすことにつながるため、気候変動対策の観点から重要性がますます高まっており、CO<sub>2</sub> を用いた合成燃料等を作る反応開発が活発化しています。

一方で、将来的に CO<sub>2</sub> 削減とものづくりを両立するためには、新たな視点での反応開発が重要です。本稿では、当センターで行っているコア技術確立事業「低濃度 CO<sub>2</sub> の化成品変換技術の開発」をご紹介します。

## 研究背景：CCU にフィットする合成技術

現在、大気中から CO<sub>2</sub> を削減する技術の一つとして CCU が注目されています。その中で、アミン吸収法が技術として成熟していますが、課題も残っています。それは吸収剤からの CO<sub>2</sub> 脱着及び圧縮にエネルギーがかかることです（図1①②）。この部分に化石資源由来のエネルギーを使うわけにはいかないので、どれだけ少ないクリーンエネルギーで①と②を達成するかが一つのポイントです。また、化学変換時の CO<sub>2</sub> 投入量も考慮すべき点です。CO<sub>2</sub> の化学変換では、一般的に原料に対して過剰量の CO<sub>2</sub> ガス（常圧バレーン～加圧オートクレーブ）が使われます（図1③）。したがって、その様な条件下で目的の化成品が収率 100% で得られたとしても、導入した CO<sub>2</sub> のほとんどは変換されません。そこで我々は、図①～③の課題を解決し、より CCU にフィットした CO<sub>2</sub> 変換反応の開発を行いました。

本研究では CO<sub>2</sub> の化学吸収により得られる固体を直接反応に利用することとしました。これにより、図1①及び②にかかるエネルギーを回避することが可能になります。さらに、必要最小量を反応に使用することで、回収した CO<sub>2</sub> 分子を可能な限り使い切る CO<sub>2</sub> 削減効率が高い化学反応が期待できます。

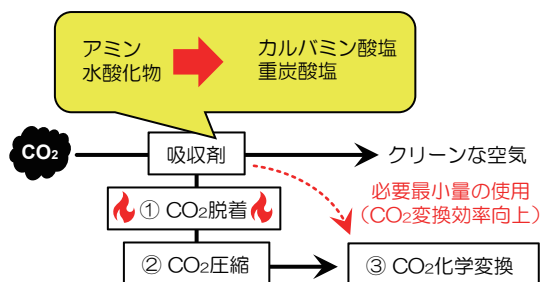


図1 固体 CO<sub>2</sub> 源の直接利用

## 固体 CO<sub>2</sub> 源を利用した化学反応

エチレンジアミン（EDA）に CO<sub>2</sub> を固定化したカルバミン酸塩（EDA-CO<sub>2</sub>）を固体 CO<sub>2</sub> 源として、ウレタン骨格を有する 2- オキサゾリジノン誘導体 **2**（抗菌薬等に含まれる骨格構造）の合成を行いました（図2）。

銀触媒と強塩基の DBU 存在下、原料 **1a** に対してほぼ等量の EDA-CO<sub>2</sub> を用いて、**2a** が収率良く得られることがわかりました。さらに、その他の置換基を持つ **2b**～**2d** も、EDA-CO<sub>2</sub> を用いて合成することができました。また、反応収率は末端アルキン＞内部アルキン＞第一級アミンの順で低下しますが、CO<sub>2</sub> ガスを用いた場合も同様の傾向が見られるため、EDA-CO<sub>2</sub> は CO<sub>2</sub> ガスの代替源と解釈することもできます。

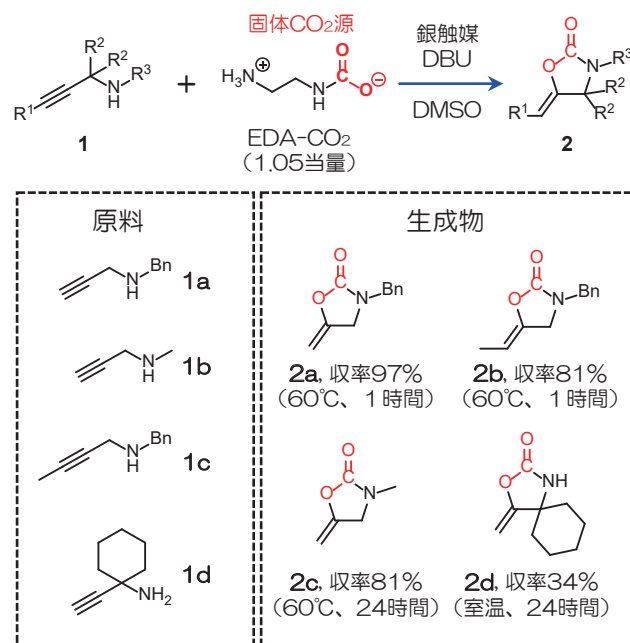


図2 2- オキサゾリジノン誘導体の合成

## 何故反応が進行する？

目的物が得られていることから、CO<sub>2</sub> 分子が EDA-CO<sub>2</sub> から原料 **1** へ移動しているはずですが。一方で EDA-CO<sub>2</sub> は安定であり、60℃程度の加熱条件では CO<sub>2</sub> 分子を放出しません。そこで CO<sub>2</sub> の移動を促進する要因を調査したところ、銀触媒と EDA-CO<sub>2</sub> が相互作用していることが <sup>13</sup>C NMR 測定から示唆されました。すなわち、EDA-CO<sub>2</sub> 単体では CO<sub>2</sub> を放出せず、銀触媒と相互作用したときに CO<sub>2</sub> の脱離・移動が起こり、その後の環化反応を経て目的物が生成すると考

えられます(図3)。このCO<sub>2</sub>放出の特異性が、必要最小量のCO<sub>2</sub>源でも反応が進行した理由の一つかもしれません。EDA-CO<sub>2</sub>がランダムにCO<sub>2</sub>を放出すると、反応溶液から気相にCO<sub>2</sub>が移動して反応効率が低下する可能性があります。

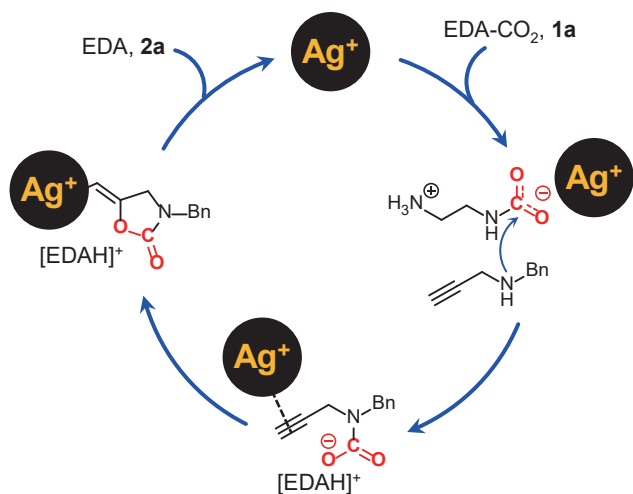


図3 推定反応機構

## 空気中の希薄なCO<sub>2</sub>を利用する

前項の考察から、EDA-CO<sub>2</sub>は原料1と接触するまで、CO<sub>2</sub>分子をしっかりと捕捉していることが示唆されました。これを踏まえると、固体CO<sub>2</sub>源とはまた異なる、CCUにフィットした反応系を構築することが可能です。それは空気を供給し、空気中の希薄なCO<sub>2</sub>を取り込みながら反応を行う方法です(図4)。これは、「CO<sub>2</sub>の回収と変換」を「同時にその場で」行っているため、図1のCO<sub>2</sub>脱着・圧縮及びCO<sub>2</sub>源の輸送に係るエネルギーを回避できます。

CO<sub>2</sub>を捕捉可能な脂肪族アミンを反応溶液に共存させ、空気供給条件下で反応を行いました。固体CO<sub>2</sub>源を用いる時よりも反応時間は長くなりますが、空気中のわずか0.04%程度のCO<sub>2</sub>を反応系に取り込みながら目的物2aを得ることができました。また、CO<sub>2</sub>を捕捉するためのアミンがジアミンやトリアミンの場合、反応は効率的に進行しましたが、モノアミンの場合、ほとんど反応は進行しませんでした。一方で、ジアミンであってもその構造中に第二級、第三級アミンを持つものは効率が低下する結果となりました。<sup>13</sup>C NMRによる分析を行ったところ、CO<sub>2</sub>を捕捉してカルバミン酸塩になるものは問題ありませんが、空気中の水分が原因で重炭酸塩に変換されるタイプのアミンの場合、今回の反応には適さないことが分かりました。

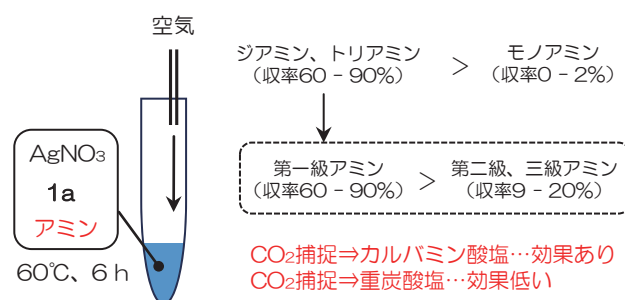


図4 希薄なCO<sub>2</sub>条件下での反応

## CO<sub>2</sub>から何が作れる??

本稿ではCO<sub>2</sub>からウレタン骨格を合成する事例を紹介しました。その他にも、CO<sub>2</sub>ガスから様々な化合物に変換する研究が報告されています(図5)。現在、当センターでは固体CO<sub>2</sub>源を用いて、より効率的なCO<sub>2</sub>変換反応を開発し、合成可能な化合物種の拡張を目指しています。詳細についてはChemistry Letters<sup>1)</sup>、Bulletin of Chemical Society of Japan<sup>2)</sup>に掲載されています。

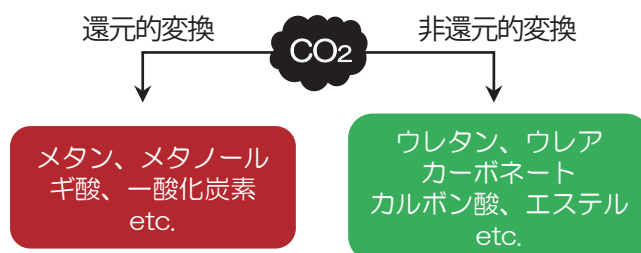


図5 CO<sub>2</sub>から合成可能な化合物

## おわりに

今回は所謂CO<sub>2</sub>の非還元変換の事例をご紹介しました。当センターでは固体、ガス問わずCO<sub>2</sub>の効率的な変換反応の開発を行っております。「自社製品をCO<sub>2</sub>から作れないか?」等、ご興味がございましたら一度ご相談いただければ幸いです。

### [参考文献]

1) A. Fujii, R. Baba, A. Yoshii, Y. Nishiyama, H. Mori, *Chem. Lett.* **2025**, 54, upaf007.

2) A. Fujii, R. Baba, Y. Nishiyama, H. Mori, *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **2025**, 98, uoaf63.





## 機器紹介

事業名：地域産業活性化促進事業  
機器名：メタルハライド耐候試験機

●この設備の仕様は？

○製品名（メーカー）

メタルウェザー DW-R8PL-A（ダイプラ・ウインテス株式会社）

○仕様

- ・JTMG01(2000) メタルハライドランプ方式  
(光・水劣化型固定式) 試験機 準拠
- ・光源 定格 6.0kW メタルハライドランプ
- ・照射波長領域 295～780nm (KF-1 フィルター使用時)  
295～430nm (KF-2 フィルター使用時)
- ・有効照射面積 200mm×400mm
- ・放射照度制御範囲 90～140mW/cm<sup>2</sup> (測定波長範囲 300～400nm)
- ・試験サイクル 照射・結露・暗黒各工程の単独及び組合せが可能
- ・温度制御範囲 50℃～85℃(照射時)、5℃～85℃(暗黒時)
- ・湿度制御範囲 30%～90%RH (試験条件により異なる)

●この設備の特徴・用途は？

○特徴・用途

- ・塗料、プラスチック成形物等の光劣化超促進に伴う変退色、劣化の評価（耐候試験）
- ・高分子材料の耐候試験（屋外暴露、キセノンアークランプ）実施前の予備試験（スクリーニング）



事業名：地域産業活性化促進事業  
機器名：分光測色計

●この設備の仕様は？

○製品名（メーカー）

分光測色計 CM-3700A Plus（コニカミノルタ株式会社）

○仕様

1. 分光測色計本体

- ・照明・受光光学系 拡散照明・8°受光（反射）、拡散照明・0°受光（透過）  
SCI/SCE の切替又は同時測定が可能、透過試料用ホルダ有
- ・測定波長範囲 360nm～740nm、測定波長間隔 10nm
- ・積分球サイズ φ152mm
- ・照明径（反射） 5×7mm (SAV)、φ11mm (MAV)、φ20mm (LMAV)、φ28mm (LAV)
- （透過） 約φ25mm

2. 計測制御専用ソフトウェア SpectraMagic NX2 Pro

- ・測定条件
  - ・視野 2°、10°
  - ・光源 A、C、D50、D55、D65、D75、F2、F7、F11 等
  - ・表色系 CIE L\*a\*b\*、CIE L\*C\*h、ハンター Lab、CIE XYZ (Yxy)、マンセル 等
  - ・色差式 ΔE\*ab (CIE)、ΔE (ハンター)、ΔE<sub>00</sub> (CIE2000) 等
- ・インデックス（抜粋）
  - ・白色度 ASTM E313、CIE、ハンター
  - ・黄色度 ASTM E313、ASTM D1925
  - ・ISO18314-3 に基づく黒色インデックス Blackness、Jetness、Undertone
  - ・K/S 濃度

●この設備の特徴・用途は？

○特徴・用途

- ・各種材料の分光反射率又は透過率の測定
- ・染色物、樹脂加工品、食品、化粧品等の物体色の測定
- ・着色溶液、着色フィルムの透過色の測定
- ・測色値、色差等による各種材料の色彩評価
- ・K/S 濃度による着色剤の定量
- ・黄色度、白色度等によるプラスチック製品の劣化の評価

