

どうやって
実現する？

明るく豊かな ゼロエミッション 社会

連載
【第8回】

越 光男 Koshi Mitsuo

低炭素社会戦略センター 特任研究員

岩崎 博 Iwasaki Hiroshi

低炭素社会戦略センター 特任研究員

2050年脱炭素に不可欠 大気中からCO₂を直接回収

若手商社員・皆川豊を主人公としたストーリー仕立てで、低炭素社会戦略センター(LCS)が発行する提案書を読み解く連載の第8回。今回は2050年の脱炭素社会実現に不可欠とされる大気中から二酸化炭素(CO₂)を直接回収する技術について、越光男特任研究員と岩崎博特任研究員にお話を伺った。

強アルカリ溶液と反応させ吸収 脱離には900度の高温が必要

皆川：本日もよろしくお願ひいたします。先日、谷口昇副センター長と大友順一郎特任研究員より、大気中から直接CO₂を集めるDirect Air Capture(DAC)と呼ばれる技術が進んできているとお聞きしました。今日はその最新動向を伺いに来ました。大気中のCO₂濃度を増加させない技術は、脱炭素社会実現のカギですね。

越：そうですね。「ネガティブエミッション」と呼ばれる、温室効果ガスを回収して除去する技術が注目されています。DACはその1つです。

皆川：発電所などの排ガス中のCO₂を回収する方法はありますが、大気中からCO₂を捕集するDACは、難しそうです。

越：大気中のCO₂濃度は0.04パーセントと低濃度なので、排出源からの10~15パーセントという高濃度の

CO₂を回収するのとは、技術がかなり異なります。1999年に米アリゾナ州立大学のクラウス・ラックナー教授がDACを提案して以来、有効性や、実現可能性が絶えず議論されてきました。

皆川：研究開発はどのくらい進んでいるのですか？海外ではベンチャー企業が開発を進めているとか。

越：脱炭素の達成には世界全体で2050年までに、1年間で1ギガ(10億)トンのCO₂を捕集しなければならない計算ですが、現在、1万トン程度しかDACで捕集できておらず全然足りません。日本では実用化されていませんが、これから必須の技術なので、開発をする意義は大きいと思います。

皆川：どのようにCO₂を捕集するのか教えてください。

越：世界では主に2つの方法で技術開発が進んでいます。1つは吸収液を使う方法、もう1つが固体吸着剤を使う

方法です(図1)。吸収液を使う方法では、強アルカリ溶液にCO₂を吸収し、水酸化カルシウムと反応させて炭酸カルシウムの固体にします。これに熱を加えるとCO₂と酸化カルシウムになり、CO₂が回収できます。

皆川：CO₂を吸収させる技術が肝になりそうですね。

越：効率よくCO₂を液体に取り込むには、^{はくたい}莫大な面積が必要です。カナダのカーボン・エンジニアリング社の方法では、気液の接触を良くする工夫をした空気接触装置の表面を水酸化カリウムで濡らし、巨大なファンで空気を当てて反応させます。計画では、直径5メートルのファンを縦に4つ重ねたものを、横に2キロメートル連ねるそうです。

皆川：え！高さ20メートル、横2キロメートルに渡ってファンがぎっしり。想像を絶する大きさです。

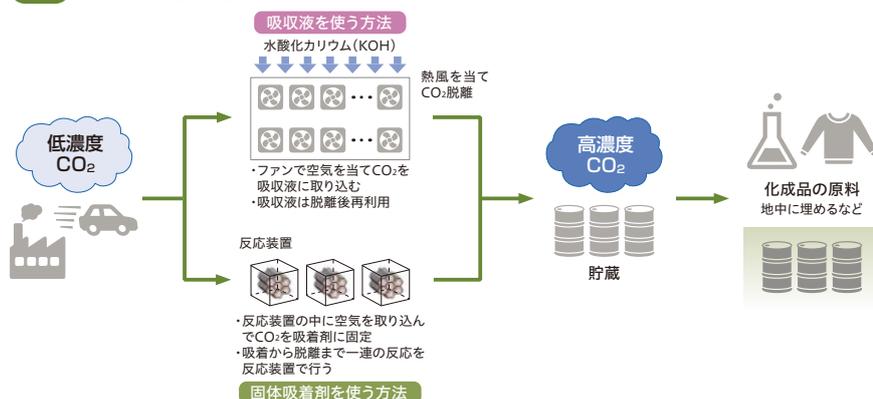
越：このシステムでもCO₂捕集量は1年にわずか90万トンと、必要量に届きません。さらに、炭酸カルシウムの固体を焼く過程で900度という高温が必要になり、莫大な熱エネルギーを使うことも欠点に挙げられます。

精密な多孔質材料の表面に吸着 生産コストとサイクル数に課題

皆川：なるほど。固体吸着剤を使う方法は、どうですか？

越：吸着剤には、多孔質材料の表面にCO₂との反応性が高い分子を固定したものが使われます。スイスのクライ

図1 DAC技術の概要



出典：N.McQueen et al., Progress in Energy, 3 (2021) 032001より筆者編集

ムワークス社の方法では、ナノファイバーセルロースの表面にアミン分子を固定した吸着剤を使います。それを2.5メートル×2.5メートル×1.2メートルの反応装置に入れ、ファンで空気を取り込んで吸着材にCO₂を固定します。その後、箱に残った空気を排出し、100度で加熱してCO₂を脱離させます。この反応装置で吸着と脱離の一連の処理が可能です。

皆川：必要な熱エネルギーも少なく、この方法の方が期待できそうです。

岩崎：ただし、1年間に90万トンのCO₂を捕集するにも、吸着・脱着操作に各約1万1000個の反応装置が必要です。

越：加えて、吸着剤のコストが高いというデメリットがあります。表面積を大きくするために精密な表面構造の制御が必要で、ある程度のコストがかかってしまいます。熱を加えることで吸着剤が劣化する問題もあります。カーボン・エンジニアリング社の吸収液の方法では、CO₂を1キログラ

ム捕集するコストが35円なのに比べ、クライムワークス社の吸着剤の方法では117円と高くなっていて、DACが経済的に成立するためには、少なくとも数万回程度の繰り返しサイクルに耐えることが必要です。

皆川：うーん、どちらの方法もまだまだ課題があるように思えます。

熱エネルギー不要の新技术 研究に期待も、CO₂貯留場所が課題

岩崎：いろいろな理由から、固体吸着剤を使う方に発展性があるとして、世界で集中的に研究されています。また新しい発想として、CO₂を脱離するときに熱エネルギーを使わない方法を考えるべきだと言われています。

皆川：そんなことが可能なのですか？

岩崎：中国やアメリカで盛んに研究されている湿度スイング吸着(MSA)という方法があります(図2)。固体吸着剤を使う方法ですが、CO₂の脱離に水和水の凝集エネルギーを利用するので。

皆川：どういうことでしょうか？

岩崎：吸着剤に水を加えることでCO₂を固定している吸着剤の周りに水和水が凝集し、その凝集エネルギーでCO₂を脱離します。乾燥させるとCO₂が再び吸着し

ます。熱を加える必要がなく、吸着剤の劣化を抑えられるのも大きなメリットです。

皆川：説明だけ聞くと簡単そうですが、きっとそうではないですよね。

越：理論的には成り立つのですが、確立された技術ではないため、私たちはそれを可能にする技術を研究しています。

岩崎：世界でもまだ実験室規模の研究です。水の問題は非常に重要で、加える水は蒸気で、蒸発させないといけないのか、噴霧した水が均一にかかるのかなども、実証で確かめなければいけません。

皆川：これからの技術開発に大きく期待したいです。さて、CO₂をうまく回収できたとしても、その後はどうするのでしょうか？地中に埋めることも検討されているようですが、実現のめどは立っていないとか。

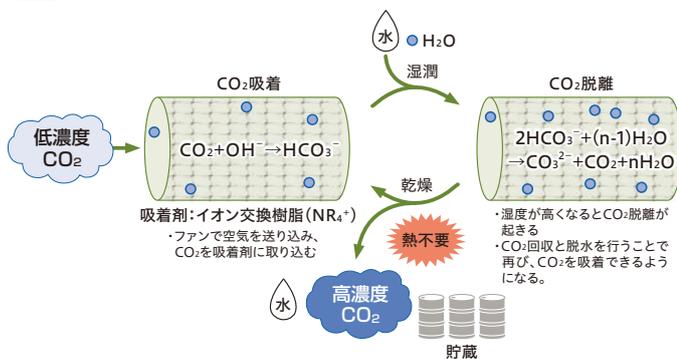
岩崎：日本で埋められればコストは安く済みますが、海外などに持っていく場合は廃棄物ですから、関係国との協力関係など政治的な課題になりますね。

越：CO₂はグローバルな問題なので、実施体制もグローバルに考えなければなりません。いずれにせよ、DACは2050年脱炭素社会実現のカギなので、実用化に向けて国内でも今すぐ研究を進めることが重要だと思います。

皆川：わが社も新事業に注目して、いち早く投資や事業提携を考えなければいけませんね。今日はありがとうございました。

(TEXT:岩崎茜, PHOTO:楠聖子, 福井智一)

図2 湿度スイング吸着(MSA)の仕組み



出典: X. Shi et al. J.Chem.Phys., 149 (2018) 164708より筆者編集

ワンポイントアドバイス

東京大学 先端科学技術研究センター 教授 杉山 正和

大気中からCO₂を直接回収する仕組みとして忘れてはならないのが、植物です。品種にもよりますが、植物はCO₂を回収するだけでなく、有用な炭化水素、特に糖類として資源化してくれます。ただし、現行の植物では面積効率が極めて悪く、食料生産や生態の保全を考えると、年間1ギガトンのCO₂固定はとて見込めません。したがって、冗談のように巨大な扇風機の集合体であるDAC装置も、世界中のどこかには設置する必要が出てくるでしょう。ただし、DAC装置を駆動するエネルギー自体もCO₂フリー化する必要があることから、再生資源と未利用地が豊富に得られる立地を選ぶことになるでしょう。同時に、せっかく回収したCO₂は、単に埋めるのではなく、植物にならって有用な化学資源に転換したいですね。そのための技術開発も進められています。

ワンポイントアドバイス

東京大学 未来ビジョン研究センター 准教授 菊池 康紀

変動性の自然エネルギーの活用や廃熱利用、回収したCO₂の製品利用など、多様な技術を適材適所に組み合わせ、DACシステムを設計できるようになれば、気候変動問題への大きな貢献となるでしょう。ただし、何をするにもエネルギーや材料、設備が必要となるため、低炭素社会の実現のためにはライフサイクルの視点が不可欠です。常に俯瞰的な評価に基づく改善を意識できると、確実な社会革新へと繋げられるように思います。