

対 談

触媒で目指す カーボンニュートラル

カーボンニュートラル実現のためには、二酸化炭素（以下CO₂）排出量の削減のみならず、CO₂を原料として再利用することも有効な手段となります。CO₂を原料活用するうえでカギとなるのが触媒です。触媒を駆使してCO₂を有効活用する技術開発に取り組まれてきた産業技術総合研究所の崔準哲総括研究主幹をお招きし、当社研究開発センター長の五十嵐とお話いただきました。

常務執行役員 研究開発センター長

五十嵐 寛

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
触媒化学融合研究センター 総括研究主幹

崔 準哲

原料としてのCO₂の可能性

五十嵐 崔先生には、当社との共同研究でとてもお世話になっています。そもそも先生が日本にいられたのは1994年、翌年の東京工業大学の博士課程進学のためと伺っています。

崔 韓国の大学で修士課程まで終えて、錯体・有機金属化学の分野で日本トップレベルの先生のもとで学びたいと思い、東京工業大学へ進学しました。博士課程を修了して国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）の特別研究員を1年務めた後に、産業技術総合研究所（以下、産総研）へ採用され、そこで与えられたテーマがCO₂を原料とした基礎化学品の合成です。最初に話を聞いた時は正直なところ、現実的では

ないと戸惑ったのを覚えています。なぜならご存知のようにCO₂は安定していて、非常に反応しにくい物質だからです。悩んだ末に着目したのが超臨界状態のCO₂です。超臨界状態のCO₂は気体と液体の性質を併せ持つため、気体のCO₂とは反応性が変わるのではないかと考えたわけです。超臨界状態のCO₂とアルコールを反応させることで、一段でエンジニアリングプラスチックの原料である炭酸エステルを合成する技術を確立することができました。

五十嵐 当時は、カーボンニュートラルが社会的なテーマとはなっていない時代です。それでもいち早くCO₂の活用に着目されていたのですね。その後、

アメリカ留学を経て帰国後に研究チーム長となられた。ちょうどその頃から、当社とも関わっていただけるようになりました。CO₂を活用するモノづくりでは、ほかにもケイ素化合物とCO₂から重要な基礎化学品であるウレタン原料の開発にも成功されています。

崔 ここで言うケイ素化合物は、砂の主成分であるシリカからできるものです。これにCO₂を組み合わせることで基礎化学品を合成できれば、CO₂削減にもつながり一石二鳥となります。このように私は炭酸エステ

ルから始まり、CO₂を活用した基礎化学品製造に役立つ技術開発を一貫して続けてきました。2019年になって政府が「カーボンリサイクル技術ロードマップ」をまとめて、CO₂活用によるウレタンやポリカーボネート合成を目標に掲げましたが、私は2000年代初めからこの技術開発に取り組んでいたのです。

CO₂を使ったウレタン（カルバミン酸エステル）の合成については、「カルバミン酸エステルの製造方法」として2003年に特許も出願しました。

CO₂を活用し有用材の創出を目指す

五十嵐 今から20年以上も前の段階で、それまで廃棄物とみなされていたCO₂を原料として活用する発想が、すばらしいと思います。CO₂の有効活用を出発点として、CO₂を材料とした化合物生成へと思考を掘り下げていく。世界に先駆けて進められた先生の研究は、その後の展開を考えればまさに革新的です。CO₂排出については自動車が問題視されがちですが、工場など産業界からの排出量も相当なものです。大量に排出され続けているCO₂を原料としてモノづくりに活用するのは、カーボンニュートラルに向けた正しい方向性であり、触媒メーカーとして当社も取り組むべき課題と認識しています。その際に貴金属触媒をメインとする当社に対しては、どのような貢献を期待していらっしゃるでしょうか。

崔 先ほども述べたようにCO₂は極めて安定しているため、活性を高めるためには触媒の力が不可欠です。御社が扱う貴金属触媒の優れた点は、活性が高いことですが、さらに使用後の触媒を回収し、精製・再利用する取り組みは、資源の保全に大きく貢献する一つに挙げられます。新たな触媒の開発とともに、リサイクル技術の開発も重要なテーマだと思います。

五十嵐 貴金属触媒は高価になりがちですから、資

源の有効利用という観点からも、貴金属の活性を最大にし、触媒の貴金属使用量を低減することは、最重要課題と認識しています。もとより専門メーカーとして事業を進めてきた当社は、知見の積み重ねにより、様々なノウハウがあります。例えば貴金属を分散させて貴金属原子一つひとつが働くように配置する技術はその一例です。また原料と接触する触媒表面の1層だけに貴金属を配置すれば、貴金属使用量は最低限でありながら活性は高いままとなります。

崔 私も長年触媒研究に携わり、貴金属量の削減は常に重要課題として認識していました。研究成果の一例として、シリカなどの担体の上に配位子をつけて単原子の白金を固定することで、非常に高い活性を持つ触媒を開発することができました。

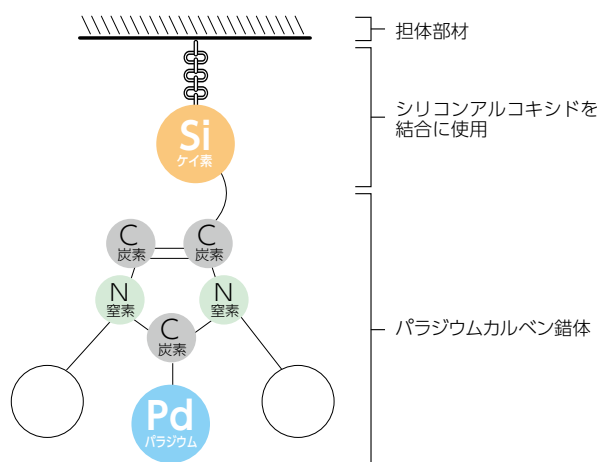
五十嵐 単原子を高分散配置できれば、通常の固体触媒と比べてはるかに高い性能を出せます。さらに配位子をつけて固定するわけですから、固体触媒でありながら必要な反応のみ選択的に起こすという錯体触媒の特徴も兼ね備えた「夢の触媒」となります。その実用化のために先生との共同研究に取り組ませていただいたのです。

「夢の触媒」でカーボンニュートラルに挑む



崔 御社との共同研究を開始した当時、私はパラジウム系の触媒に関心を持っていました。そこで、カルベンという配位子を使うとパラジウム原子を安定化できるためパラジウム錯体触媒の固定化に取り組みました。

共同開発パラジウム錯体固定化触媒



五十嵐 カルベン配位子を結合したパラジウム錯体触媒は、高い性能を持ち、ノーベル賞候補にも挙げられています。これを担体部材に固定化できれば、まさに当社の求める「夢の触媒」となります。

カルベン配位子と担体部材を結びつける橋渡しの構造として、崔先生は、シリコンのアルコキシドを採用されましたが、その結果、もとのカルベンよりも非常に高い性能を持つ錯体触媒となったことに大変驚きました。

崔 固定化前に実際に錯体触媒の反応試験を行ってみると、パラジウムが活性化されて反応温度が下がることがわかりました。そこでシリコンアルコキシドの種類を変えて試行錯誤した結果、C-Nクロスカップリング反応に対して、高い触媒活性を示すようになりました。この錯体触媒を固定化する担体を見つけてくれたのは御社なのですが、そこに実際に固定化してみると本当に錯体触媒と固体触媒の両方の特徴を持つユニークな触媒ができたのです。実験結果が出た時には、こんなに低温化できて、反応が早く、性能も上がるなんて嘘じゃないかと思ったくらいです。

五十嵐 まさに予想外、非常に興味深い触媒です。研究成果に対して2021年度の石油学会奨励賞(工業部門)をいただきましたが、触媒の貴金属量の低減だけではなく、プロセスの省力化にもつながる、画期的な技術だと考えています。

崔 おっしゃるとおりです。共同で開発した触媒は、ファインケミカル分野で活用されるC-Nクロスカップリング反応で、2.5倍の触媒活性が得られています。このように、触媒活性を高めることができるとエネルギー効率も高まるため、環境負荷低減につながり、化学合成プロセスにおけるカーボンニュートラルの実現に貢献できます。

化学合成プロセスにおけるカーボンニュートラルと触媒

五十嵐 まさに社会から期待されている技術であり、先生のチームとの共同研究で完成できたことは、大変ありがたく感謝しています。

グリーンエネルギー等、直接的にCO₂削減につながる技術もちろんありますが、工場におけるCO₂排出量を削減するためには、工程や時間の短縮等、化学合成プロセスにおける省エネルギーも重要ですね。加えて、反応のため高温・高圧力が必要とされるプロセスについて、温和な条件で反応を進められるようになれば、さらにCO₂削減に貢献できます。当社も常温に近い条件で化学反応を進行できる触媒の開発にも注力しています。

そして、貴金属は限られた貴重な資源なので、リサイクル技術の発展も、持続的な社会を実現するために必要な技術だと考え、スカベンジャー等、触媒技術の応用にも力を注いでいます。

これからも社会課題解決に向けた取り組みを促進していく考えですが、当社に対する期待や要望などをお聞かせいただければと思います。

崔 これからの御社が何を目指すべきなのか。何より必要なのがターゲットの見極めだと思います。まず考慮すべきは国として掲げているテーマである2050年のカーボンニュートラルの実現に資する技術の創出です。また顧客との対話を通じた、付加価値の高い触媒開発も欠かせません。顧客の望みや悩みを起点とした触媒開発が次につながるはずです。アドバイスの言葉としては「顧客との付き合いを深く、強くする」となります。

五十嵐 ありがとうございます。確かにいつもアンテナを張り巡らせて、「これは!」という開発テーマに対して柔軟かつ迅速に対応できる体制が必要です。私たちは、付加価値の高い少量多品種型のモノづくりに貢献できる生産技術の確立なども通じて、カー

ボンニュートラルの実現に向けて触媒で寄与していきたいと考えています。

さらに先生との共同研究からの学びとして、外部の知見をお持ちの先生方や研究機関などとの連携の必要性も痛感しました。今後もオープンイノベーションを行い、新たな価値を生み出し、社会に貢献できる触媒開発に取り組みたいと考えています。

また、今後とも、ご指導よろしくをお願いします。



崔 準哲 (チー ジュンチョル)

産総研触媒化学融合研究センターの総括研究主幹を務めるとともに、産総研のゼロエミッション国際共同研究センター CO₂資源化研究チームに所属。筑波大学連携大学院の教授も務めている。