

野村 琴広 *Nomura Kotohiro*

東京都立大学 大学院理学研究科 教授
2020年よりe-ASIA JRP研究代表者／
21年よりCREST研究代表者

特集

OVERVIEW

高機能触媒の開発でプラごみ問題を解決 環境に優しい「ケミカルリサイクル」へ

近年、SDGsやサーキュラーエコノミー（循環経済）へ向けたプラスチックごみ問題解決の背景から、プラスチックの分解再利用に関する研究の重要性が高まっている。この問題に際し、東京都立大学大学院理学研究科の野村琴広教授は、独自の高性能触媒を用いた研究開発を通じ、環境負荷の低いケミカルリサイクルの確立を目指している。

現状は品質やコストに問題 カルシウムとチタンで活路

使用済みのプラスチックを原料に戻す「ケミカルリサイクル」は、プラスチックごみ問題を解決する技術として期待されている。しかし、現在この手法が利用されている割合はプラスチック全体のわずか3パーセント程度にすぎない。例えば、ペットボトルをケミカルリサイクルするためには、高温下で多量の酸や塩基、添加物が必要で、反応後の目的物の回収や廃水処理の問題、副生するポリマー原料以外の化合物の分離・精製などの課題がある。

「現状では、リサイクル品の品質やコストの問題があり、石油から作った方が安いという現実があります」と語るのは、東京都立大学大学院理学研究科の野村琴広教授だ。野村さんはJSTのCREST「機能集積型バイオベースポリマーの創製・分解・ケミカルリサイクル」において、ポリエステルとアルコールを混合、加熱するだけで原料へ分解できる高性能の酸化カルシウム触媒とチタン錯体触媒を開発して活路を開いた。チーム内の東京農工大学工学研究院応用化学部門の平野雅文教授とは、別の触媒開発にも取り組んでいる。

この研究はもとも野村さんが研究代表者を務めるSICORP (e-ASIA JRP)「触媒の効率炭素

ー炭素結合形成を基盤とする植物油由来の高分子機能材料の開発」での、非可食植物油から洗剤やポリマーの原料など付加価値の高いファインケミカルズの合成を可能とする触媒開発で、2つの触媒を見いだしたことから展開したものだ。「植物油からポリマーを合成するエステル交換反応の触媒を、同じエステル交換反応のポリマーの分解に適用するという至ってシンプルな発想です」と野村さんは語る。この成果はCRESTの研究開始から1年足らずでの成果発表となった。

触媒材料が、酸化カルシウムとチタン錯体である点にもメリットがある。酸化カルシウムは入手が容易かつ安価な市販の触媒で、工業化実績が豊富である。チタン錯体も入手が容易で、触媒性能に優れている。そのため、ポリエステルとアルコールを混ぜて加熱し、アルコールを取り除

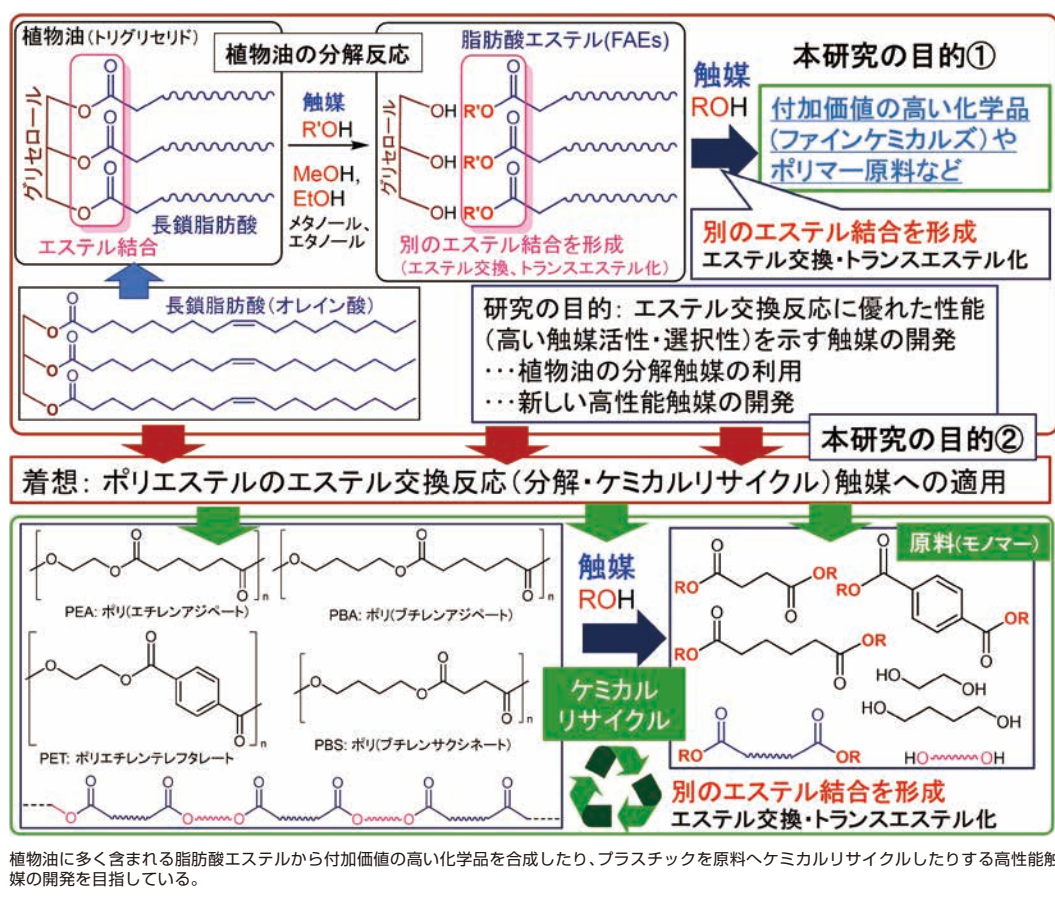
くと原料を100パーセント回収できる。シンプルかつ高効率ゆえに環境負荷の低いプロセスを構築できる可能性が高い。

また、エステル交換触媒であるチタン錯体は分解反応後もそのまま残っているため、真空でアルコールを除きながら反応させることにより、いったん原料に分解されたポリエステルは再度重合してポリエステルに戻る。つまり、廃プラスチックから新たなプラスチックへ触媒を変えることなく変換できるのだ(図1、2)。この方法は、植物油からポリマー原料の生成、各種精密化学品の合成、プラごみから付加価値の高い化学品への変換など、幅広い応用も期待される。

企業・米国での経験を礎に 独自性を意識しながら研究

野村さんが分子触媒化学の研究に

図1 本研究における「ケミカルリサイクル」の目的と着想



植物油に多く含まれる脂肪酸エステルから付加価値の高い化学品を合成したり、プラスチックを原料へケミカルリサイクルしたりする高性能触媒の開発を目指している。

最初に取り組み始めたのは、博士前期課程からだという。「前期課程修了後は住友化学の有機合成研究所に入社し、ファインケミカル合成の触媒開発に従事し、その成果を論文発表して博士号を取得しました。この間、触媒探索からプラントでの実用化までを担当しました。同じ分野の先生方とはまったく異なる歩みかもしれません」。

その後、米国のマサチューセッツ工科大学(MIT)に留学し、ノーベル化学賞受賞者のリチャード・シュロック教授の研究室で、現在欧米で活躍する多くの研究者と研究活動に取り組んだ。企業や米国での10年間の経験と、そこでの研究者たちとの出会いが、野村さんの研究生活の礎となっている。帰国後は石油化学品の研究所に所属し、エチレンなどのオレフィン重合触媒の実用化研究と触媒探索に携わった。

1998年に奈良先端科学技術大学院大学に着任した野村さん。当時、研究者としてのロードマップを特に意識していたという。「この先も研究者として生き残るためには、自身の発想でオリジナリティーの高い触媒を設計・合成して、その触媒でないと実



2015年、米国ボストンで開催された研究室のOB会での写真。前列の右端が野村さん、左から2番目がシュロック教授。

現できない研究を推進することが大事だと考えました」。同時に、今回の課題で採択されたように「独自の精密合成技術を拓いて、その特徴を生かした材料開発への展開」を考えるようになったという。

そこで、研究テーマの中心に「独自の高性能触媒の設計・創製」を据え、チタンやバナジウム・ニオブ分子触媒を開発した。時間は非常にかかったが、これらの触媒でないと実現できない反応例を数多く発表することができた。こうした野村さんの姿勢

と数々の研究成果が評価され、96年には日本化学会の技術進歩賞、01年には触媒学会の学会賞・技術部門を受賞した。さらに19年には同学会の学会賞・学術部門も受賞している。

タイ、フィリピンと共同採択 非可食植物油の活用にも挑む

その後、野村さんは10年より首都大学東京(現・東京都立大学)の教授に着任。研究室はタイのチュラロンコン大学やマヒドン大学、タマサート大学とのつながりが強く、これまでに数多くの留学生を受け入れ、共著論文も多数発表してきた。バンコクでの国際会議も共同企画・開催している。こうした経緯から、共同研究を模索していたところ、タイ側からの紹介でフィリピンのアテネオ・デ・マニラ大学を加えて、非可食植物油から触媒反応で高分子機能材料を合成することをテーマにe-ASIA JRPへ応募、採択された。

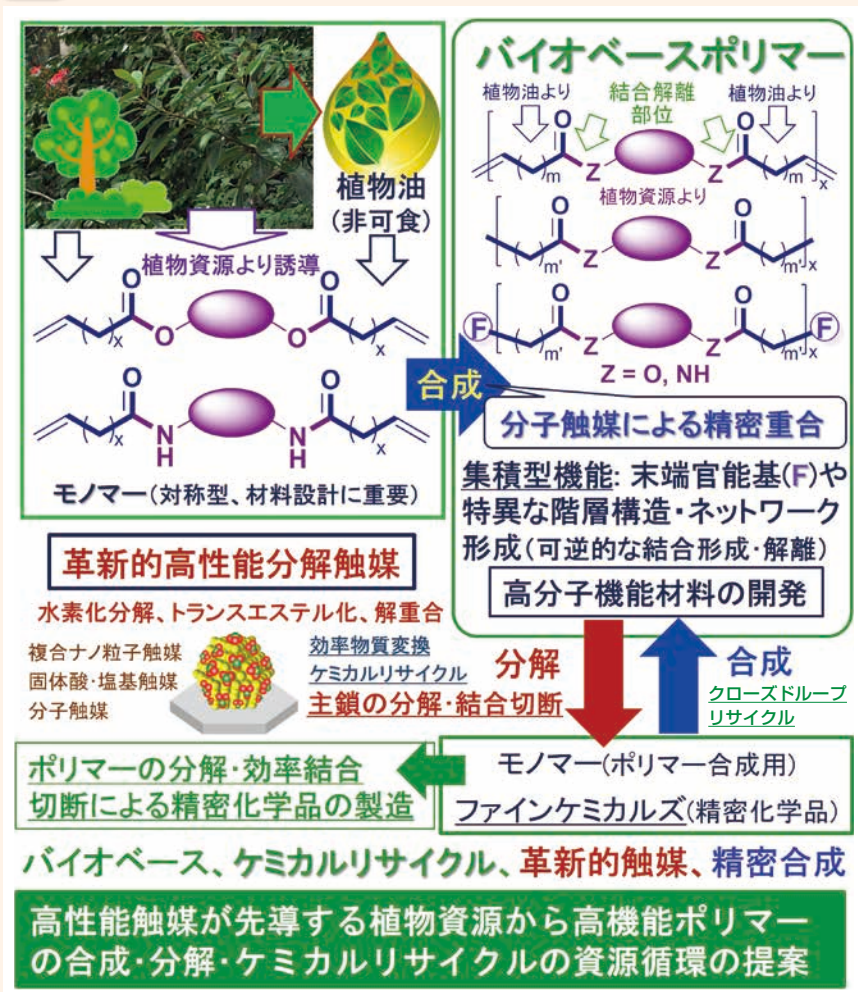
e-ASIA JRPでは、非可食植物油から化学品を効率よく合成する触媒開発をタイと日本が共同研究し、バイオベースポリマーの合成を日本、そのバイオポリマーの機能評価をタイとフィリピンが担当した。その後、e-ASIA JRPの成果の1つであるエステル交換反応の触媒開発を、

図2 ポリマーの分解反応



市販のPETボトル片とエタノールにチタン触媒を加えた状態(左)。反応後の様子、原料のテレフタル酸ジエチルの白色沈殿が見られる(右)。ポリマー原料が定量的に回収できる。

図3 CRESTの研究概要



CRESTの課題に適用し、プラスチックの分解という成果につながった。

CRESTの主目的は、植物資源から誘導される高機能ポリエステルの開発とケミカルリサイクルだ。「分解はe-ASIA JRPでも手掛けたエステル交換反応なので、初期は現況の課題解決も考慮し、市販のポリエステルを分解できる高性能触媒の開発に取り組みました」と説明する(図3)。食用作物と競合の起こらない非可食の植物油・植物油成分から分解・リ

サイクル可能な高分子機能材料の創製を目指す研究は世界中で行われている。「ジェット燃料などに展開する」と研究と比較すると、ポリマーへの展開に取り組む研究者は日本では少な

いと思います」と野村さんは研究の肝を語る。

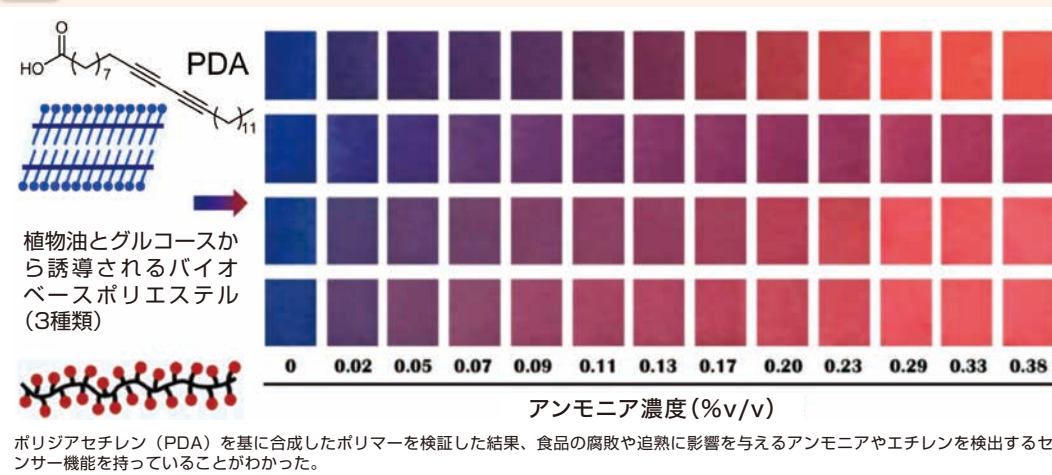
多様な機能性を発揮する材料開発の可能性を提案

現在、野村さんは精密合成手法の開発に加えて、機能開発に関する研究にも取り組んでいる。きっかけはe-ASIA JRPでの国際共同研究だ。合成したポリマーをタイの研究室で機能評価したところ、アンモニアやエチレンなどを検知するセンサーとして機能することがわかった(図4)。この発見を契機に、食品包装用フィルムとして、食品容器の鮮度センサーに利用できないかとタイ側で研究を進めている。

フィリピン側では、合成した糖鎖ポリマーとキトサンとの複合化フィルムで水中に混在する水銀などの捕捉効果が見られたので、水質浄化膜の開発を目指している。「こうした実用につながる発想は日本チームだけではできませんでした。国際共同研究ならではの成果ではないかと思っています」と国際共同研究の重要性を強調する野村さん。

ただ、ASEAN諸国との共同研究は必ずしも順風満帆ではなかった。19年に発生した新型コロナウイルス感染症の拡大により、各地で都市のロックダウンが実施されたためだ。

図4 センシング機能を持つ(PDAとバイオベースポリエステルからなる)ポリマー複合材料



「サンプルを海外へ送るにも大学が閉鎖されていたため、海外の共同研究者の自宅に送るなどして対応しました。本当は海外の学生に来日してもらい、交流しながら研究を進めたかったのですが、それも延期となりました」と野村さんは振り返る。

一方で、コロナ禍ならではの機会やコミュニケーションツールをフル活用した。「すでに研究方針を固めて、研究チーム間で共有できていたので、ウェブ会議で

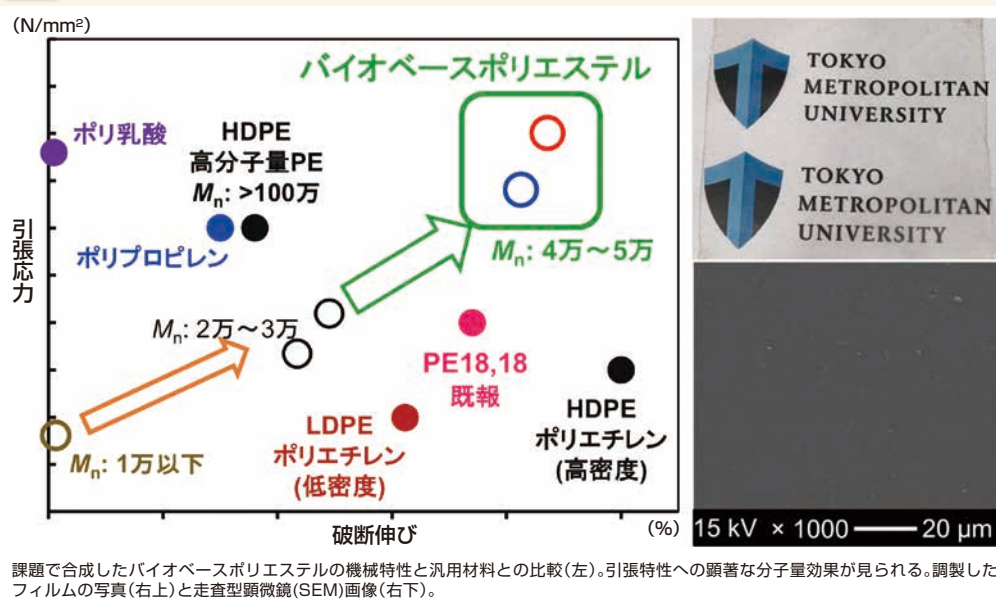
も十分に意思疎通を図ることができました。これまでは距離や時間の制約が多くありましたが、さまざまな学会や国際会議にオンラインで出席することもできました」。さらに、自由に使える時間が増えたことで、研究に関連する幅広い分野を勉強することもできたという。

ポリマー鎖を長くして 実用化の壁を越えたい

プロジェクトを進めるにあたって課題の1つとして、野村さんはポリマーのさらなる高分子化を挙げた。「私たちの研究は合成手法や触媒に着目しています。合成したポリマーを実際の材料として使うためには、ポリマー鎖を長くする必要があります」。この課題に対し、植物油とグルコースから誘導される各種モノマーのオレフィンメタシス重合に注目した。

高分子量ポリマーを合成する手法開発に取り組んだ結果、汎用のポリエチレンより引張強度や破断伸びに優れる材料が得られるようになった(図5)。この成果はチーム内の大阪産業技術研究所の平野寛先生との共同研究から生まれた成果で、分解・リサイクル可能なバイオベース高機能材

図5 バイオベースポリエステル機械特性



料の研究を進める重要な基盤技術となっている。

この課題と並行して、独自に開発したバナジウムやニオブ錯体触媒について、研究を進めている。「他の触媒と比較して触媒活性、耐熱性、選択性の制御など有効性が実証されていますが、この課題に適用するにはまだまだ改良が必要です。将来的には、これまで取り組んできた独自の触媒開発、材料開発などが、1つの線で見えるような結果として結実すればと期待しています」と野村さんは展

望を語る。

この分野の触媒開発の研究は、欧米などの海外に研究者が多く、野村さんは今よりもさらに積極的に国際共同研究を推進したいと考えている。また、海外では関連触媒で実用化に至った例はいくつかあるが、国内ではなかなか実用化の壁を越えるのが難しいのが現状だ。野村さんは、これまで培った経験に加え、幅広い分野の知見を積み重ねることで、この壁を乗り越えようとしている。

(TEXT:伊藤左知子、PHOTO:石原秀樹)



自分だけの研究テーマを突き詰める中で、国際共同研究が実現しました。今後も、オリジナリティの高い触媒や精密合成手法で目標を実現する方法を模索していきます。