

【3RF-1803】 廃プラスチックからの選択的有用化学品合成を可能にする固体触媒プロセスの開発 (2018～2020)

研究代表者 田村 正純 (東北大学)

1. 研究開発目的

本研究では、触媒による位置かつ官能基の認識による目的結合の選択的切断技術 (東北大、田村) と、ポリマー組成や不純物量のコントロールを可能にする実廃プラスチックの精製・分離手法 (東北大、熊谷) を組み合わせることで、実廃プラスチックからの温和な条件での高選択的有用化学品合成を可能にする新規固体触媒プロセスの構築を目指す。

触媒技術に関しては、独自触媒をベースとし、高純度ポリマーをモデルプラスチックとして用い、触媒組成、触媒調製方法、反応条件を検討することで、最適固体触媒系を見出す。ポリオレフィン系 (ポリエチレン、ポリプロピレン) プラスチックの C-C 結合の選択的水素化分解に注力し、Ru/CeO₂ をベース触媒に、金属前駆体、担体、触媒調製方法を検討することで、高活性、高選択性を実現できる触媒系を見出す。絞り込まれた最適触媒系を用い、ポリオレフィン系実廃プラスチックに適用し、プラスチックの組成や不純物の触媒系への影響 (触媒の活性、選択性、耐久性など) を評価し、問題点、課題等を明らかにする。触媒探索研究から見出された高性能触媒については、触媒活性点構造の解明を行い、結果は更なる高性能化に活用する。触媒構造の詳細解析、速度論解析により、特に、C-C 結合の活性化・切断を可能にする活性点構造を明らかにする。

廃プラスチックの前処理手法に関しては、触媒反応に適した廃プラスチックの分離・精製手法の開発に向け、ポリオレフィン系廃プラスチックの詳細な性状解析を行う。実廃プラスチックに含まれる無機・有機系安定剤および機能付与剤種、含有量、熱安定性、溶出挙動等を明らかにする。触媒反応に悪影響を及ぼす不純物が発見された場合、抽出法、加溶媒分解法、熱分解法等から有効な除去手法を絞り込み、その挙動を明らかにする。触媒系及び廃プラスチックの分離・精製の両面からの最適化を行い、実用化に耐えうる固体触媒プロセスの構築を行う。低エネルギー・低環境負荷が望ましいため、前年度絞り込んだ不純物除去手法に対して温和な不純物除去条件を確立し、低負荷溶媒の選択を念頭に入れた手法を開発する。

2. 研究の進捗状況

プラスチックの分解に有効な触媒系の開発においては、市販ポリエチレンをモデル化合物として用いた触媒開発検討の結果、Ru がポリエチレンの C-C 結合の水素化分解に有効金属種であることを見出した。他の金属種では全く反応が進行しないことから、本触媒に特異的であり、これまでにない例である。さらに、担体の最適化検討より見出された酸化セリウムを担体とした触媒である Ru/CeO₂ を用いることで、安価なガス成分 (C1-C4) の生成を著しく抑制することが可能になった。Ru/CeO₂ 触媒を用い、液体燃料最高収率 90%、潤滑油最高収率 47% で合成できることを明らかにした。また、密度や鎖長の異なるポリエチレンやポリプロピレンにも適用可能であることも示した。さらに、担体である酸化セリウムの焼成温度を変えることで、高活性な Ru/CeO₂ 触媒の構築が可能になることを見出した。473 K といった低温条件でも反応を進行させることができることも見出した。以上の結果より、本年度の目標であるプラスチックの分解に有効な基本触媒系の開発が達成されたと言える。これらの研究の結果を基に、東北大から特許を申請した (特願 2019-090122)。論文についても現在作成中である。また、1-2 で得られた結果を基に、31 年度の計画内容であるプラスチックにコンタミする不純物の影響についても先取りで検討しており、Na, Ca, N 系化合物の触媒機能への影響はほとんどないことを確認できた。

プラスチックのサンプリングと組成分析に関しては、葛岡工場における試料サンプリングおよびプラスチックリサイクル関連施設でのヒアリング及び見学を通じて、15 個以上の異なる種類の廃プラスチックサンプルの入手ができた。2018 年度はそれらの分析により、有機及び無機元素組成を定量化す

る分析条件を確立し、プラスチックにコンタミの可能性のある有機及び無機成分について明らかにした。今後、触媒反応に影響を及ぼす不純物成分の特定およびそれらの分離手法構築に向けて、添加剤抽出および分離条件を確立していく。

廃プラスチック業者からは、プラスチックのケミカルリサイクルに関して関心を示してもらっており、サンプル提供や共同研究にも前向きな姿勢を示していただいた。また、プラスチックの分解で合成されたサンプルの評価に関しては、大手石油化学メーカ(出光昭和シェル)と共同で研究を進める。触媒プロセスやLCA 評価も今後必要であると考えており、次年度以降、必要なタイミングに応じて共同研究を進めて行く予定である。触媒プロセスに関してはプロセス設計やシミュレーションを専門としている東北大高橋准教授と、LCA 評価に関しては、化学反応のLCA に精通した大野助教に協力していただき進めて行く予定である。以下のようなコンソーシアムを検討している。

3. 環境政策への貢献(研究代表者による記述)

本研究により、ポリオレフィン(ポリエチレン、ポリプロピレンなど)から有用化学品(高価原料、高付加価値化合物)への変換が可能になる。日本において、ポリオレフィンの総プラスチックに占める割合は約50%(500万トン/2016年)である。更に、プラスチック資源循環戦略(案)において、2030年までにプラスチック製容器包装の6割をリユース・リサイクルすることをマイルストーンに掲げている。プラスチック製容器包装に占めるポリオレフィンの割合は高く、これまでのケミカルリサイクル率が4%程度であることを考慮すると、本技術が実用化されることにより廃ポリエチレンやポリプロピレンが処理可能になれば、ケミカルリサイクル率を50%に近づけることも可能になる。従って、本成果は、SDGs やプラスチック資源循環戦略にあるプラスチック資源のリサイクルに活用できる技術であると考えられ、また、低エネルギーでのプラスチック変換技術を提供するため、低炭素社会の実現にも有効な技術と期待される。また、幅広いプラスチックに適用できる触媒系であることを考えると、第4次循環型社会形成推進基本計画にある徹底的な資源循環に資する技術であると考えられる。例えば、廃ポリエチレンとポリプロピレン、約500万トン/年の約半数を潤滑油に変換することができれば、世界の潤滑油需要の10%弱をまかなうことが可能になり、二酸化炭素の削減効果はサーマルリサイクルに比べて700万トン/年以上と見積もれる。更なる長期耐久性評価や多種のコンタミ成分の影響評価により、高耐久性触媒系を構築することで、レアメタル金属使用量の削減に貢献できる技術にもつなげていく。今後、実廃プラスチックの検討、不純物成分の触媒機能への影響及び触媒耐久性評価などを行うことで高効率固体触媒系を構築していくことで、SDGs 目標「12 つくる責任つかう責任」、特に、ターゲット「12.5 2030年までに、廃棄物の発生防止、削減、再生利用及び再利用により、廃棄物の発生を大幅に削減する」に貢献できる。

廃プラスチックからジェット燃料や潤滑油基材といった有用化学品が安価かつ低エネルギーで合成することが可能になれば、廃プラスチックを基幹原材料とした新しい化学製造プロセスが構築されることになる。これまで行われてきたサーマル利用から脱却することによる二酸化炭素の削減効果、さらに、既存の化学品に置換されることにより、エネルギーや二酸化炭素が削減され、低炭素社会の実現につながる基盤技術となりうる。政府間パネル(IPCC)でも議論されているように、二酸化炭素削減技術は急務であり、本技術は間接的ではあるが二酸化炭素削減に貢献できる。また、本技術により地域で生じる廃プラスチックを原料として、自動車等に用いられる潤滑油等に高効率で変換する仕組みを構築できれば、循環資源の利活用に貢献できる技術であり、重点戦略①である持続可能な生産と消費を実現するグリーンな経済システムの構築につながる。

さらに、廃プラスチックのケミカル変換技術が確立され、廃プラスチックが原料として有効に活用できるシステムを構築することで、現在、問題となっているマイクロプラスチックを含む海洋ゴミ対策の推進等に繋がり、重点戦略④の健康で心豊かな暮らしの実現にも貢献できる技術であると考えている。また、これらの活動を、東北大と仙台市の企業とが一体となり推し進めることで、地域循環共生圏の創造のモデル構築にもつながる。

一方、廃プラスチックのサンプリングとその組成分析に関しては、プラスチックリサイクル施設見学および意見交換会を通じて、容器包装材や家電等から本技術のターゲット候補となるポリオレフィンの回収が可能であることを確認し、また、それらを高付加価値の有用化学品に転換する本技術開発について各社前向きであった。政府主導による本技術開発の進展および廃プラスチック回収・選別方法の更なる検討により、既存のリサイクルよりも高付加価値な化学品製造および高度な資源循環の実現につながる技術である。また、サンプリング・提供試料の組成分析を実施し、廃プラスチック性状の概要を把握可能な簡易分析のノウハウを確立し、多岐に渡るプラスチックや添加剤が不純物として混在していることを確認した。本技術開発も含め、政府主導による不純物成分に耐性のある触媒技術開発、添加剤除去技術開発、添加剤の迅速解析技術開発、さらには添加剤コントロールの政策等を実施することで、廃プラスチックの資源循環の高度化が期待される。本技術は一方で、プラスチック資源循環戦略が掲げる、海洋プラスチック対策の漂流・漂着・海底ごみの実態把握のためのモニタリング・計測手法等の高度化に関する研究に将来的に活用できる可能性を秘めており、更なる分析技術のブラッシュアップやデータの蓄積を行うことで、海洋プラスチックの高精度分析技術につながると考えている。

4. 委員の指摘及び提言概要

効果的ケミカルリサイクルを可能にする新規プロセス開発に向け、初年度の課題を概ねクリアし、一部先取り検討もはじめられており、今後に期待できる。サンプルの種類や質は多様であるが、実サンプルでの成果が待たれる。最終的に、実用化に耐え得る固体触媒プロセスの構築を目指しているとのことであるが、実用化のための要件を設定して、それをクリアするプロセスの構築をしていくべきである。分析技術はよいが、廃プラ組成は雑多と思われ、“有用”廃プラを特定化しての触媒開発を進める。実廃プラ（分別の有無）への適用に期待したい。潤滑油創製へのシナリオと、後2年間での開発予定をPE、PP等の源と分別水準に応じて（汚れ、混入物、添加物）、明確にすることで成果を確かなものにしてほしい。

5. 評点

総合評点：A