

2024 年度年次報告書

地球環境と調和しうる物質変換の基盤科学の創成

2022 年度採択研究代表者

永縄 友規

産業技術総合研究所 材料・化学領域触媒化学融合研究センター
主任研究員

リン酸態リンのアップサイクル物質変換

研究成果の概要

リン元素を含む化成品は農業用肥料から工業製品まで、さまざまな分野で利用されている。これらのリン化成品は、主に天然資源であるリン鉱石を出発原料として生産されているが、日本国内ではリン鉱石の採掘が行われていないため、ほぼ全量を輸入に依存している。近年、資源制約や経済安全保障上のリスクから国内に存在する下水汚泥焼却灰や製鋼スラグなど未利用リン資源のリサイクルに注目が集まっている。しかし、このような資源から回収可能なリン酸態リンを直接分子変換する技術がないことから、リン酸塩のまま肥料などにリサイクルされるなど用途の選択肢が限られている状況にある。そこで本研究ではリン酸態リンを出発原料としてリン酸エステルに代表される高付加価値なリン化成品を製造することを目的とする。

カルボン酸とアルコールによる一般的な Fischer エステル化反応とは異なり、リン酸とアルコールは通常、縮合反応を起こさないとされている。本研究では、先に明らかにしたケイ素化合物を用いたリン酸エステル化反応の機構¹⁾に基づき、アルコール側を活性化し、その後にリン酸との求核置換反応を経ることでリン酸エステルを合成する方法の実現を検討した。その結果、リン酸類のエステル化反応において効果的にエステル化反応を進行させる有機分子触媒の候補を見出した。さらに、反応条件の最適化、反応メカニズムの解明、反応プロファイルの比較、触媒の構造修飾などを実施した。また、本反応は下水汚泥焼却灰焼却灰から回収した粗リン酸に対しても適用可能であることを確認した。今後は、アルコールの基質一般性の評価を行い、各種リン酸エステルを効率的に合成できる汎用的な手法とすべく引き続き検討を実施する。また、下水汚泥焼却灰の直接利用方法の確立も並行して検討を行う予定である。

【代表的な原著論文情報】

- 1) Y. Naganawa, K. Sakamoto, A. Fujita, K. Morimoto, M. Ratanasak, J.-y. Hasegawa, M. Yoshida, K. Sato, Y. Nakajima, One-Step Esterification of Phosphoric, Phosphonic and Phosphinic Acids with Organosilicates: Phosphorus Chemical Recycling of Sewage Waste. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2025**, *64*, e202416487.