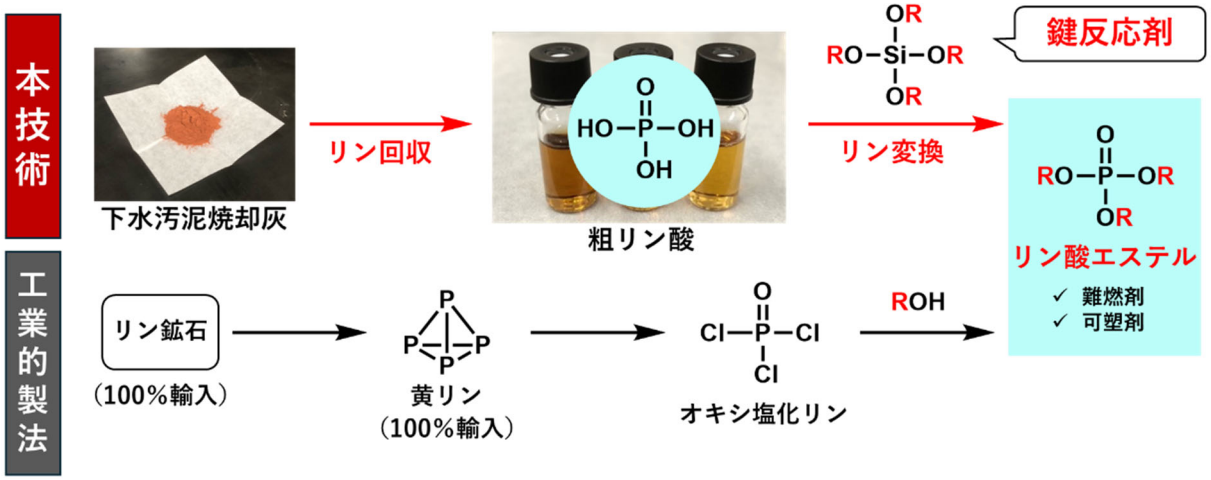
C1-09 リン資源循環に向けた下水汚泥焼却灰からのリン回収と高付加価値化

永縄友規（産総研 化学プロセス研究部門）

リンは、肥料、食品、医薬品など、私たちの身の回りのさまざまな物質に含まれる重要な元素である。しかし日本では、リン化成品の原料となる黄リンの国内製造が行われておらず、その供給は現在、ほぼ100%を輸入に依存している。近年、リン資源の経済安全保障上の重要性が高まる中で、下水汚泥焼却灰に代表される国内の未利用リン資源の回収と有効活用が注目されている。

しかし、これまで未利用リン資源から回収された粗リン酸のリサイクル先はほぼ肥料用途に限られていた。その背景には、リン酸が熱力学的にも化学的にも安定であり、分子レベルでの有効な変換技術がほぼ存在しなかったという課題があった。黄リンを出発原料とする従来のプロセスを、粗リン酸由来の原料に置き換え、付加価値の高いリン化成品へと変換できるケミカルリサイクル技術[1]が確立できれば、国内に存在する未利用リン資源の製造業への活用が大きく進展することが期待される。

我々は、ケイ素化合物であるテトラアルコキシシランを鍵反応剤とし、N,N-ジメチルホルムアミド（DMF）溶媒中でオルトリン酸と加熱することにより、対応するリン酸トリエステルを一段階で合成する新規反応の開発に成功した[2]。リン酸エステルは、工業的には黄リン由来のオキシ塩化リンを原料として生産されているが、本手法は黄リンを経由せずリン酸からリン酸トリエステルを直接合成する手法である。さらに、下水汚泥焼却灰から回収された粗リン酸を原料として、難燃剤用途に用いられるリン化成品であるリン酸トリブチルをグラムスケールで合成することにも成功し、廃棄物からリン化成品へのケミカルリサイクルを世界で初めて実証した。



1）M. B. Geeson, C. C. Cummins, *ACS Cent. Sci*. **2020**, *6*, 848.

2）Y. Naganawa, K. Sakamoto, A. Fujita, K. Morimoto, R. Manussada, J.-y. Hasegawa, M. Yoshida, K. Sato, Y. Nakajima, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2025**, *64*, e202416487.

PROFILE

永縄友規（産業技術総合研究所化学プロセス研究部門　研究グループ長）

2011 年に京都大学大学院理学研究科博士後期課程を修了（指導教員：丸岡啓二教授）。その後、九州大学、名古屋大学、東京大学にて研究に従事し、2017 年に産業技術総合研究所に入所。研究員、主任研究員を経て、2025 年より現職。2022 年より科学技術振興機構（JST）さきがけ研究員を兼任。専門は有機合成化学および有機金属化学。主な受賞は、2024 年日本化学会春季年会「若い世代の特別講演証」、2021 年ケイ素化学協会奨励賞など。

Copyright(c); 2025, The Chemical Society of Japan