

水だけを使ったPETのケミカルリサイクル技術

高温水による環境に優しい分散型プロセス

高温の水で処理することによりペットボトルなどのPETを高効率で原料モノマーに分解する技術を開発した。この技術は、有機溶媒や触媒を使わないため環境負荷がきわめて小さく、地方自治体で実施されているペットボトル回収システムと組み合わせれば、循環型社会へ向けたコンパクトな分散型プロセスとして実用化が期待できる。

We have developed a new technique of chemical recycling for polyethylene terephthalate (PET), which can depolymerize PET to terephthalic acid and ethylene glycol using water at high temperature. This method without using any hazardous material is a promising environmentally-friendly chemical recycling process, and expected to be an economical compact process in combination with the present collection system for used PET bottles.

ペットボトルのケミカルリサイクルの現状

21世紀の持続可能な社会のために、限られた資源の有効利用を図る物質循環型社会システムの構築が急務である。そこでは、プラスチック廃棄物についても、分別回収し省エネルギープロセスによって再資源化することが重要となる。

飲料水用ボトルとして利用が増加しているペットボトルは、①その強度と透明度から、高純度のポリエチレンテレフタレート (PET) で作られている、②PETはテレフタル酸 (TPA) とエチレングリコール (EG) がエステル結合で重合した高分子であることから、原理的には解重合反応によって原料モノマーに分解できる (図1)、③容器包装リサイクル法による分別回収システムの整備と回収法の国民への定着により、現在30万トンあまりの使用済みペットボトルが各市町村などの集積所に集められている。これらのことから、ペットボトルはケミカルリサイ

クルに適合したプラスチック製品と考えられる。

最近、使用済みペットボトルを再びペットボトルに戻すための、ケミカルリサイクルプロセスの実用化が検討され、EG中で解重合させるグリコリス法、あるいはこれにエステル交換法を組み合わせたプラントが事業化されている。これらのプラントは、年間数万トンを処理する大規模な化学プロセスなので、全国から大量の使用済みペットボトルを安定的に確保することが大きな課題となっている。

そこでわれわれは、各市町村の集積所に集められたペットボトルを、その場でケミカルリサイクルする分散型プロセスを考えた。各地で分散処理するため、プロセスとしては簡素化された構造で、厳重な管理が必要な有機溶媒や触媒を使用しない反応系が望ましい。そこで、水でPETを加水分解し、生成するモノマーを回収するプロセスを提案した。

佐藤 修 さとう おさむ

o.satou@aist.go.jp

コンパクト化学プロセス研究センター
触媒反応チーム (東北センター)

これまで亜臨界と超臨界状態の二酸化炭素や水を利用した有機反応に関する研究に従事し、環境に配慮した新規プロセス反応の探索に携わってきた。今回、この探索にプロセスシミュレーターによるエネルギー計算を導入することで、経済性の評価だけでなく、必要な追加検討事項を把握できるなど、シミュレーションの有用性を認識することができた。今後も積極的に他分野の研究者との協力関係を築くことで、研究が実用化に向けて発展するよう考えていきたい。

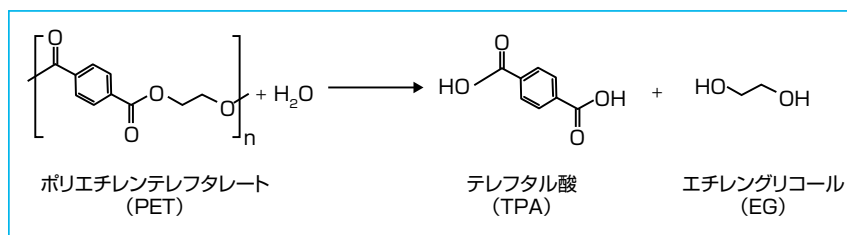


図1 ポリエチレンテレフタレート (PET) の加水分解

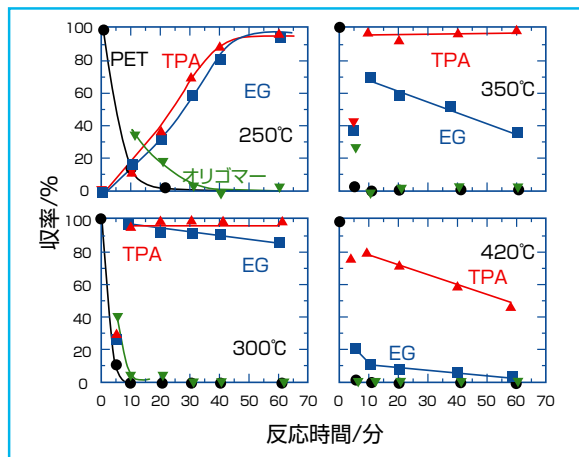


図2 PETの加水分解反応の温度依存性

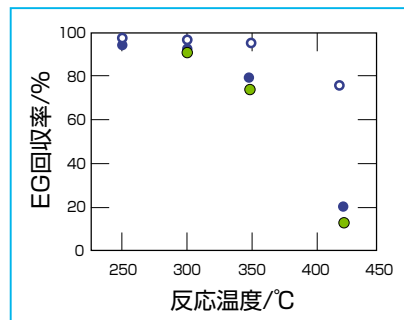


図3 高温水からのEGの回収率
(● PET 0.53g, ○ EG 0.17g, ● EG 0.17g + TPA 0.46g)
350°C以上ではTPAによるEGの脱水反応が進行するが、300°Cの条件ではほとんど進行しないことが確認された。

PETの加水分解反応

これまでPETを水で処理してモノマーに分解することができることは知られていたが、低温では十分な反応速度が得られず、酸やアルカリの添加が不可欠であった。また、超臨界水（臨界温度374℃，臨界圧力22.1MPa）を用いる加水分解も提案されていたが、生成物であるEGの脱水縮合が起こるために十分な収率が得られないという問題があった。

そこでわれわれは、高温水によるPETの加水分解とモノマー回収について、温度、時間などの影響を検討(図2、3)し、TPA、EGがともに高収率で得られる条件(反応温度300℃、処理時間10分)を見出した。

プロセスシミュレーターによる経済性

実験で得られた知見を基に、ペットボトルのケミカルリサイクル用の流通式プロセスモデルをプロセスシミュレーター上に構築し、稼動に必要なエネルギーを算出した(図4)。さらに算出したエネルギーを基にランニングコストを求め、分散型プロセスとして経済性が成立する可能性について検討した。処理すべきPETの量を(現在のペットボトル分別回収量と地方自治体の数から)1日約1トンとすると、エネルギー使用量は2,198kWhとなり、このケミ

カルリサイクルによるモノマーの製造価格を算出すると、現行のバージン価格より十分安くなる。また、このプロセスは自治体のごみ焼却場の熱エネルギーを利用できる規模なので、新たに使用する化石燃料を極力抑制することもできると考えている。

今後の展開

このケミカルリサイクル技術は、PETだけでなく他のポリエステル系樹脂にも応用できる。軽量、透明、高強度のPETよりもさらに高い耐熱性を

もつ素材として注目されているポリエチレンナフタレン-2,6-ジカルボネート(PEN)製品などへの応用も可能である。

いっそうの省エネルギー化を目指して、生成物であるTPAの添加効果などをさらに検討するとともに、固体であるPETの連続供給システムやモノマーの分離精製工程といったエンジニアリングの課題についてもコンパクトプロセス研究センター内の研究者の協力を得て、実用化に向けた研究を進めていきたいと考えている。

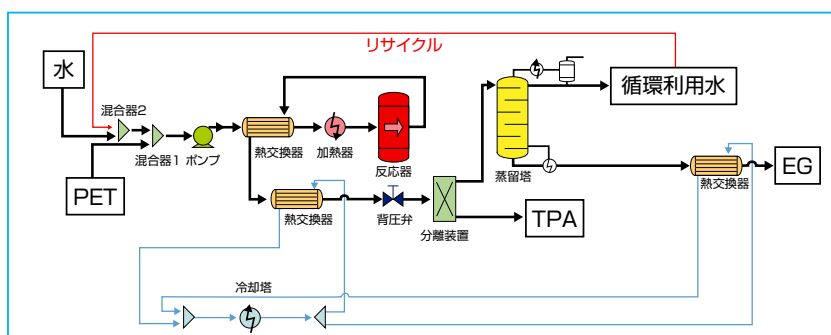


図4 分散型プロセスによるPET分解シミュレーションモデル

関連情報:

- 共同研究者：白井誠之，長田光正，峯英一，日吉範人，鹿内良将，鈴木明，新井邦夫
- 日経産業新聞：2006年5月2日
- 毎日新聞：2006年5月5日
- 特願 2006-137077「ポリエステルの高温水による分解法」(佐藤修，新井邦夫，長田光正，峯英一，日吉範人，鹿内良将，鈴木明，白井誠之)
- O.Sato, K.Arai, and M. Shirai; Catalysis Today, 111, 297-301, (2006).
- O.Sato, K.Arai, and M. Shirai; Liquid Phase Equilibria, 228-229, 523-525 (2005).