

# 特集 ポリマー生産プロセスの現状と将来展望

ポリマー産業は、多くの国内化学企業の発展を牽引してきた主要産業の一つである。近年、新興国の台頭に加え、シェールガス革命の進行や中国における石炭化学の立ち上がりなどが予想される中、国内ポリマー産業では、生き残りをかけた懸命の努力が続けられている。他方、地球温暖化や環境意識の高まりから、従来のコスト・生産効率最優先の考え方が改められ、低炭素社会の実現に向けた環境にやさしい製品や生産プロセスの開発が求められている。多種多様な素材を、最終消費者だけでなく幅広く産業向けにも提供しているポリマー産業は、低炭素社会の実現においても重要な役割を担っている。

ポリマー生産プロセスは、化学工学がダイレクトにその真価を発揮できる技術領域であり、化学工学の存在意義や重要性を読者に理解いただく上で、好適な題材の一つであると考えられる。本特集では、汎用樹脂、エンブラ、バイオプラ等、幅広いポリマー素材を対象に、キーワードとして①重合プロセス技術、②装置・システム制御技術、③環境対応プロセス技術を設定し、特に「化学工学的なアプローチから難易度の高い技術課題に挑戦し、大きな成果を収めた、あるいは今後大きな成果を生む可能性を秘めた革新技術」を中心に、研究事例を紹介する。

(編集担当：植田貴志)†

## 日本のポリマーエンジニアリングの動向と将来展望

大村 直人

### 1. はじめに

現在、日本のものづくりは大きな転換期を迎えようとしている。1985年以降、日本の貿易収支はずっと黒字を続けてきたが、2011年に赤字に転じて以来現在まで赤字が続いている。アベノミクスにより円安誘導され、海外に対してものが売りやすい環境下にあるにもかかわらず、このように貿易赤字が続いているということは、原料を輸入し、これを国内で加工して製品化し、付加価値を高めて、海外に輸出するというこれまでの貿易立国としてのビジネスモデルが成立しなくなりつつあることを意味している。「何を原料(Resource)に用い、どんなプロセス(Process)を用いて、どのように製造(Manufacturing)し、目的物(Productまたは

Material)を得て、どのように市場に販売(Business)するか?」を考えるのがものづくりの基本であるとするならば、大転換期を迎えた日本のものづくりでは、Resource, Process, Manufacturing, Product (Material), Businessのそれぞれの要素を強化していくことが重要であると思われる。本稿では日本のポリマーエンジニアリング(重合工学)を、上記の5つの要素のうち、Resource, Process, Manufacturing, Product (Material)の4つの強化(Intensification)の観点から考察し、今後の展開を議論したい。

### 2. ポリマー産業の現状

ポリエチレン(PE)、ポリスチレン(PS)、ポリ塩化ビニル(PVC)、ポリプロピレン(PP)の汎用樹脂が工業化されてから70年以上経とうとしている。図1は1975～1998年の熱可塑性プラスチックの生産量比率の概略を示している<sup>1)</sup>。1975年での熱可塑性プラスチックの生産量は、2,700万トンで、このうちこれら汎用樹脂の占める割合は80%を超えていた。この1975年時点で立てられた1998年の生産量予測では、その生産の大半はポリメタクリル酸メチル樹脂



Progress and Future of Polymer Engineering in Japan  
Naoto OHMURA (正会員)  
1987年 神戸大学大学院工学研究科化学工学専攻修士課程修了  
現在 神戸大学大学院工学研究科応用化学専攻 教授  
連絡先: 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1  
E-mail ohmura@kobe-u.ac.jp

2015年1月13日受理

† Ueda, T. 平成25, 26年度化工誌編集委員(4号特集主査)(株)カネカ 生産技術研究所

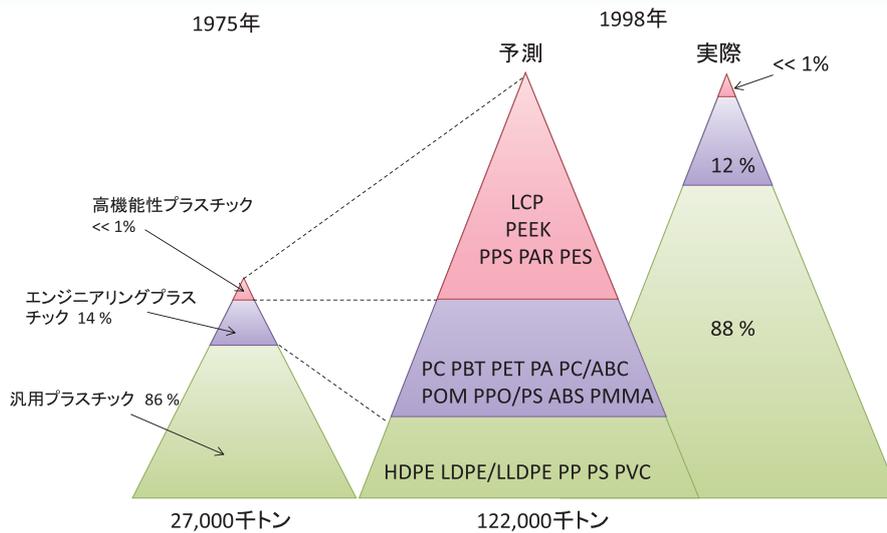


図1 1975～1998年の熱可塑性プラスチックの生産量比率の推移<sup>1)</sup>

(PMMA樹脂) やアクリロニトリル・ブタジエン・スチレン共重合樹脂 (ABS樹脂) などのエンジニアリングプラスチックやその他の高機能性樹脂で占められると予測されていた。しかしこの予想に反して、実際には、1998年時点において、生産量は飛躍的に伸びたにもかかわらず、生産量比率は1975年における比率とほとんど変わらず、汎用樹脂の生産比率が極めて高いことがわかる。現在では、世界のポリマー生産量は2億トンを超えているが、図2に示すとおり、汎用ポリマーの生産量比率は依然高く、米国、中国、西欧諸国、日本、韓国、台湾の主要生産国の汎用樹脂生産量比率も、65%を超えている<sup>2)</sup>。これは、世界のポリマー産業が成熟し、技術革新が不要になったということでは決してなく、むしろ汎用ポリマーの品質や性能が飛躍的に向上し、その用途が大幅に広がったことを意味する。一方、2013年の日本のプラスチック原材料生産量は、2000年のピーク時14,446千トンの約7割程度の10,579千トンとなっており<sup>3)</sup>、汎用樹脂の生産量比率も7割程度と依然高い。このことは、中国をはじめとする新興国に比べ、我国ではこれらの汎用樹脂の生産における競争力が、コスト高などの要因により落ちてきていることを意味する。したがって、今後の日本のポリマー産業の発展には、新規高機能性ポリマーやエンジニアリングプラスチックの開発力のみならず、汎用樹脂を含むポリマー生産力強化が不可欠であると考えられる。

### 3. ポリマー生産プロセスを強くするための4つのIntensification

前節では、ポリマー産業の現状と汎用樹脂を含むポリマー生産力強化が不可欠であることを述べた。このポリマー生産力強化のためには、Resource, Process, Manufac-

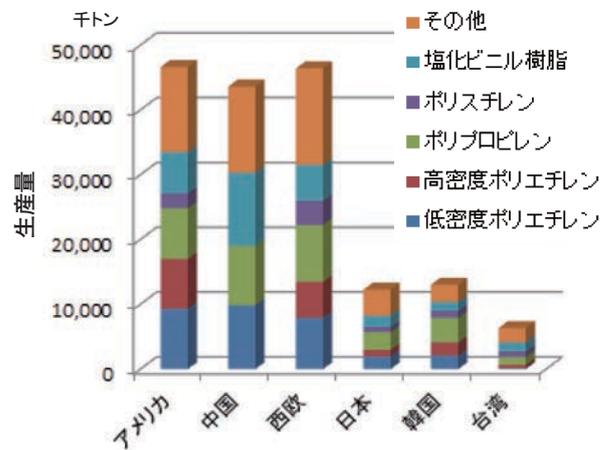


図2 2010年の主要国・地域の樹脂別生産量<sup>2)</sup>

turing, Product (Material) の4つの要素の強化が極めて重要であると考えられる。以下これら4つの強化について、概略を述べる。

#### 3.1 Resource Intensification

図3にポリエチレンの原料であるエチレンの原材料構成比を示す<sup>4)</sup>。図から、我国は、米国、欧州に比べ、ナフサの依存度が極めて高いことがわかる。ナフサは、石油価格と基本的には連動しており、その5割をクエート、サウジアラビア、インド、韓国などから輸入している。したがって、このように高いナフサの依存度は、日本のポリマー産業が石油価格や為替の変動の影響を非常に受けやすいことを意味するため、原材料の多様化がResource Intensificationのポイントであると考えられる。また、地球環境の負荷低減の観点からもセルロースなどのバイオ由来の再生可能な資源の活用も今後ますます重要度を増すと思われる。

#### 3.2 Process Intensification

Process Intensification (プロセス強化) は、プロセスをコンパクト化し、生産性、安全性、環境負荷などの性能を飛躍的

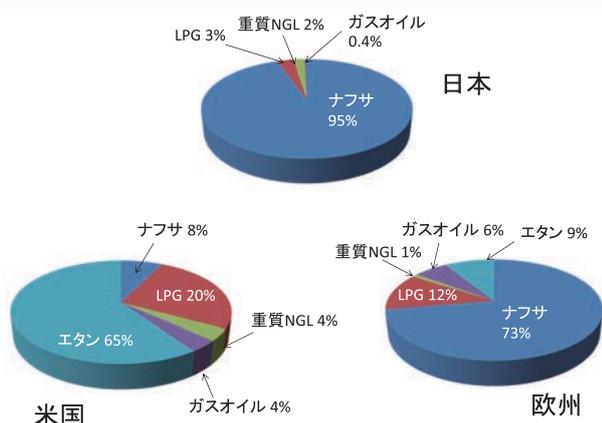


図3 2011年の日本、米国、欧州のエチレン原料構成比<sup>4)</sup>

に向上させる技術戦略として位置づけられている。Process Intensificationはすでに多くの解説が存在する<sup>5)</sup>ので、詳細は他書にゆずるが、重合プロセスにおけるProcess Intensificationでは、触媒開発、リビングラジカル重合など新規重合合法開発、より安全な物質への置き換えとこれらに適した反応プロセスや分離プロセスの開発がポイントとなる。また、反応を精密に制御するために、マイクロリアクターなどプロセスのミニチュア化も重要となる。

### 3.3 Manufacturing Intensification

Manufacturing Intensificationでは、いかにうまくポリマーを製造するかがポイントであるため、プロセスや装置の設計、操作、計測・制御がとりわけ重要となる。たとえば、凝集物の付着の少ない反応装置を用いれば、反応効率の向上と反応装置の洗浄負荷が低減でき、製造強化につながる。また、反応プロセス内の状態を簡便に*in-situ*かつオンラインで計測できれば、計測のための分析負荷の大幅な低減が期待される。プロセス強化に関連した新規な装置や操作法に対応するプロセス制御技術の構築も今後重要となるであろう。

### 3.4 Product Intensification

ポリマー材料におけるProduct Intensificationは、言い換えれば、ポリマー材料の機能強化である。ポリマー材料の重要な機能の一つである材料強度を例にとれば、ポリマー材料の現実の強度は、その理論強度に比べ、非常に小さい。この大きなギャップを埋めるために、ポリマー材料の複合材料化やハイブリッド化などが有力な手法となる。図4に示すように、森棟、西野<sup>6)</sup>はポリビニルアルコール(PVA)にグラフェンオキシサイド(GO)のナノ粒子をわずか0.1 wt%程度添加するだけで、材料強度が大幅に向上することを明らかにしているが、これなどはProduct Intensificationの典型例であると言える。ポリマー材料がガラスや鋼板などに比べて軽量であることを考えれば、このようなポリマー材料の高強度化などの機能強化を図り、自動車など輸送材に使用される機能性プラスチックの使用比率を高めれば、車体重量の大幅な削減が達成され、燃費と航続距離の大幅な向上に

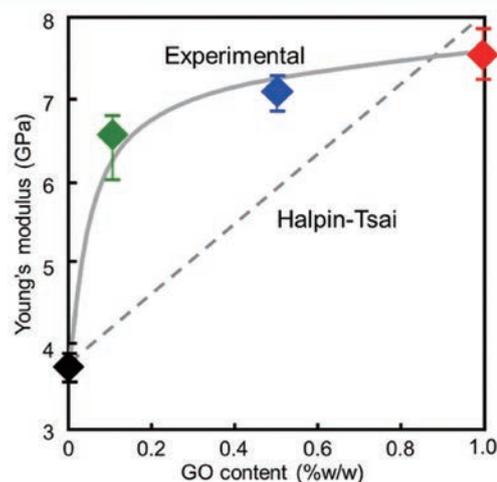


図4 PVA/GOナノコンポジットのヤング率 (点線はHalpin-Tsaiによる理論式から得られた強度)<sup>6)</sup>

より、地球環境と資源負荷の大幅な低減が期待される<sup>7)</sup>。

## 4. おわりに：総合工学としての重合工学

以上、ポリマー生産プロセスにおけるResource, Process, Manufacturing, Productの4つのIntensificationについて、概略を述べた。しかしこれら要素はそれぞれ独立ではなく、それぞれが連動していることに注意しなければならない。したがって、これら一連の流れを一種のサプライチェーンと考え、最適化するプロセスシステム工学的な視点が非常に重要になる。昨今の大学における化学工学の教育研究は、流行の要素技術ばかりが目目され、化学工学がこれまで得意としてきた物事を俯瞰的、統合的にみるプロセスシステム工学的な視点が軽視されているのではないかと危惧される。プラスチック産業を支える重合工学(ポリマーエンジニアリング)は、高分子合成化学、高分子物性、レオロジー、移動現象、反応工学、単位操作、プロセス設計、プロセス制御など幅広い学問分野からなる総合工学である。この総合工学としての重合工学を体系化し、将来の技術革新につなげるために、化学工学の果たすべき役割は今後ますます大きくなるであろう。また、プラスチック産業の次世代を担う人材育成も重要であり、研究開発のみならず人材育成においても、産業界、公的研究機関、大学による産官学の緊密な連携が必要になると考えられる。

### 参考文献

- 1) Schenck, H. U.: Polymers in Europe, Special issue July, 15-17 (2001)
- 2) 日本プラスチック工業連盟ホームページ: [http://www.jpif.gr.jp/5topics/conts/world3\\_c.htm](http://www.jpif.gr.jp/5topics/conts/world3_c.htm)
- 3) 塩ビ工業・環境協会ホームページ: [http://www.vec.gr.jp/lib/lib2\\_4.html](http://www.vec.gr.jp/lib/lib2_4.html)
- 4) 石油化学工業協会ホームページ: <http://www.jpca.or.jp/4stat/01aramashi/03nafusa.htm>
- 5) たとえば, Stankiewicz, A. I. and J. A. Moulijn: *Chem. Eng. Prog.*, **96**, 22-34 (2001), Reay, D., C. Ramshaw and A. Harvey: *Process Intensification*, Butterworth-Heinemann, Oxford, UK (2008)
- 6) Morimune, S., T. Nishino and T. Goto: *Polymer Journal*, **44**, 1056-1063 (2012)
- 7) 浅野健治: 近畿化学協会重合プロセスの基礎講習会テキスト, 第2日 (10月17日) (2014)