

ポリプロピレン (PP) の開発と自動車材料への応用

藤田 祐二¹⁾

Development of Polypropylene and Its Application to Automotive Parts

Yuji Fujita

Key Words: Material, Plastic, Composite Material / Polypropylene, Compounding, Injection Molding, Automotive Materials

1. ま え が き

ポリプロピレン (PP) は最軽量のプラスチックであることに加え、優れた機械物性・成形加工性を有し、更にはリサイクル特性等の環境負荷の観点から生活関連材料から工業材料まで幅広く用いられている。特に自動車材料としてはそれら特性を反映し多様な用途で採用されている。自動車材料としての用途拡大は PP 自体の分子構造制御技術の向上に加え、複合化技術、成形加工技術の向上に依存するところが多い。本報告では最近の技術成果を基に、その動向を解説する。

2. ポリプロピレンの特徴と自動車部品への適用

国内にて生産されている乗用車の構成材料の統計は自動車工業会によると、2001年時点で全重量に占めるプラスチックは約8%、その内 PP は半分の約4%である¹⁾。その後のデータは公開されていないが現時点での PP 化率は約6%と更に利用域が拡大されたと推定される。図1に自動車工業会データを基に推定した自動車構成材料の容積分率の推移を示す。容積に占める PP の比率は約2割にまで増大しており、これが重要な構成素材として自動車の軽量化に寄与していることは明らかである。

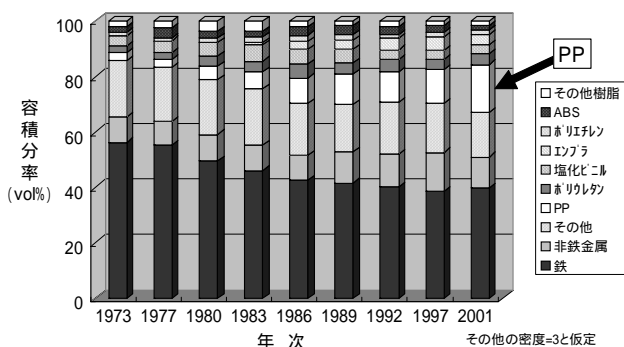


図1 自動車を構成する全材料の容積分率

自動車分野の PP の成長の主要な背景は PP 自体の分子構造制御による高性能化に加え、複合化技術の進歩に依存するところが多い。図2には PP 単体、及び、各種複合 PP の剛性-衝撃強度マップと対応する自動車部品のイメージを示す。純粋な PP (ホモ PP) の力学物性は中剛性-低衝撃強度でありその用途

2005年5月20日 自動車技術会春季大会において発表

1) 日本ポリプロ株式会社 第一材料技術センター (510-0848 三重県四日市市東邦町1)

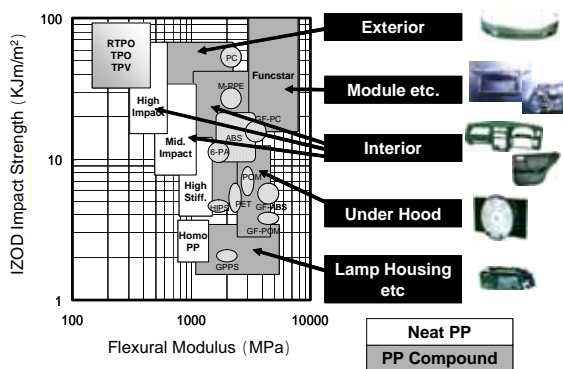


図2 各種 PP 材料の物性マップと適用部品

は制限されるが、立体規則性を向上させる高結晶化技術、重合過程でゴム成分を共重合した ICP (Impact Copolymer) 技術の進展と共にその性能域を拡大している。更にはコンパウンド技術の開発によりエンジニアリングプラスチックに匹敵する性能を達成し、長繊維 GF 強化 PP による金属代替モジュール部品²⁾等の多くの部品に採用されるに至っている。

3. コストパフォーマンスの更なる追及

バンパーやインストルメンタルパネル等の大型 PP 部品は ICP にエラストマー、無機フィラー等を複合化した複合 PP が用いられており、そのコンパウンド (CP) 過程でのコストを合理化する手法として図3に示す必要機能成分をマスターバッチ (MB) 化し成形機に直接添加する手法 (高機能 MB 工法) や PP プラントに直結した大型押出機にてコンパウンドするダイレクトインライン CP 工法、などのプロセスが実用化され成果を上げている³⁾。

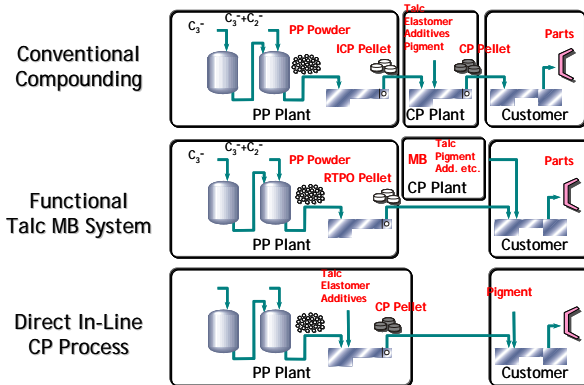


図3 合理化コンパウンディングプロセス

近年、この二つの工法を組み合わせることにより、更なるコストダウンを達成しながら要求特性を確保する効率的な手法が開発された。バンパー材の重要な特性として表面外観がある。流動性の悪い樹脂では金型内での異常流動に起因して表面にトラシマ状のフローマーク(図4)等の不良が発生する。完全塗装仕様のバンパーであればある程度許容されるが、(部分)非塗装仕様であれば問題となる。



図4 PPバンパーの外観不良の例

バンパー材のような大型グレードは生産効率の観点からグレード統合が進み、塗装、非塗装タイプのバンパーも同一の複合PP材料で成形されることが多い。従って、材料の外観は非塗装仕様に合わせるのが一般的であり、高外観を達成するためには複合PPの設計上コストアップにせざるを得ない問題があった。

この矛盾を克服するために基本材料を塗装仕様の低コスト材にし、非塗装仕様への対応は外観改良PP成分を濃縮した成分をMBとして極少量射出成形時の添加し外観を改良する手法が確立された。これにより、必要特性を確保しつつコストダウンが達成された⁴⁾。図5に以上のプロセスの概念図を示す。

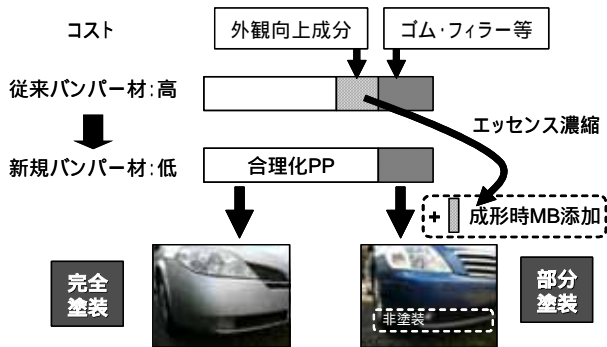


図5 合理化バンパー成形プロセスの概念

4. 新規用途の拡大

(複合)PPの高性能化に従い新たな部品への展開も広がっている。自動車用のPP部品の多くは射出成形にて成形されているが、効率的に大型部品を成形する手法としてブロー成形法の活用も進んでいる。採用事例としてトランクルーム内のデッキボード、また、乗用車ではないがトラクターのルーフ部材の例を図6に示す。

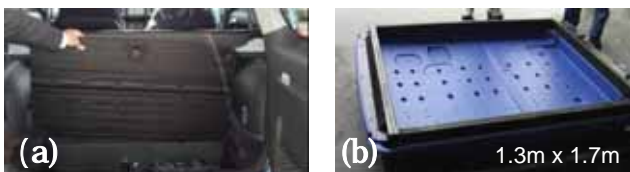


図6 ブロー成形部品 (a)デッキボード、(b)トラクタールーフ

これらの大型ブロー成形を可能にするために成形時のドロウダウンを抑制する必要がある。そのためにPPとしては比較的欠点である溶融張力の向上が必要とされたがPP分子設計・複合化技術の向上によりそれを達成し採用に至っている。図7にその溶融特性を示すように、溶融時の張力が向上されたPPが用いられている。

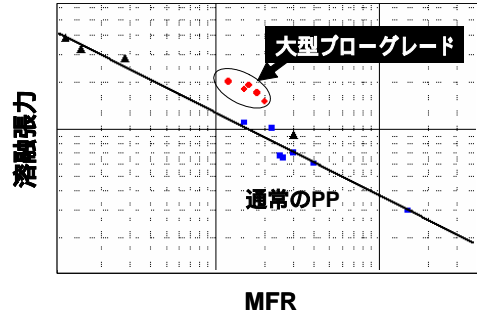


図7 大型ブロー用PPの溶融特性

フェンダー・バックドアなどの外板部品は自動車の軽量化のための更なるターゲット部品であり、古くは80年代よりエンジニアリングプラスチックを主体とした幾つかの実績が知られているが、近年、幾つかのPP採用事例が見られるようになった^{5) 6)}。外板に要求される性能には部品間の隙間品質を向上する必要があるが、金属に比較して線膨張係数が高いプラスチックではそれが困難である。よって、未だ本格採用には至っていないものの、通常のPPの線膨張係数の約半分にまで低減させた新規PPがバックドア構成部品に採用されるなど今後の展開が期待される。

5. グローバル供給性

国内自動車メーカの海外進出に伴い自動車用PP材料も世界同一品質が要求されている。自社海外PPプラントを持たない日本ポリプロ(株)では従来、調達可能な海外PPをベースに複合化技術にて国内材と同一性能を目指していたが、真の意味でのグローバル同一品質の観点では問題があった。これに対し、近年では自社PP製造プロセスの海外ライセンス展開に伴い、国内自動車用と同一構造のベースPPを確保し、これを用いた真のグローバル自動車材を確立中である。(図8参照)

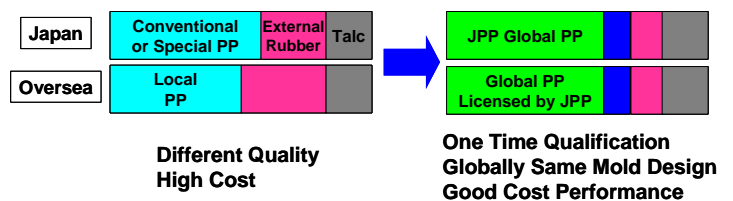


図8 自動車用グローバルPPのコンセプト

6. 新規・基盤研究の進展

自動車分野に限らず、PPの高性能・高機能による新規用途開発のために、触媒・重合、構造・メカニズム解析面からの研究も進んでいる。以下にそのいくつかの例を示すが、このようなアプローチからの成果も今後期待できる。

1) メタロセン PP

ポリオレフィンの重合触媒として近年メタロセン触媒の開発が進んでいる。この触媒は従来からあるチーグラール・ナツタ触媒と比較し、構造が制御された均一ポリマー構造を高効率にて重合できる利点があり、ポリエチレンやオレフィン系ゴムの分野で広く実用化されている。PP の分野での実用化は遅れてはいるが、図 9 に示した分子量、組成のコントロール性を生かし、クリーン性が要求される食品用途等の分野での市場開発が進んでいる⁷⁾。今後、自動車材料の分野に関してもその展開が期待されている。

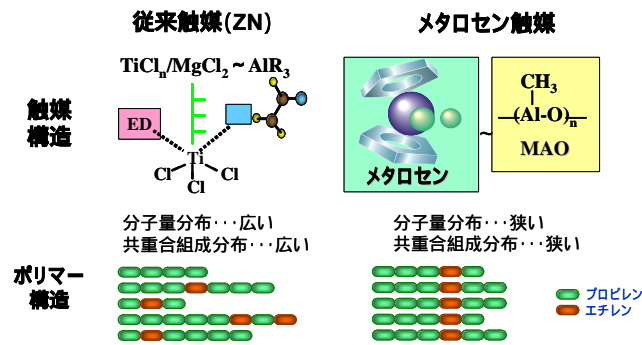


図 9 従来 PP とメタロセン PP の差異

2) 耐傷付き性の向上

インストルメンタルパネルや各種トリム類等、PP 複合材は内装材用途にも多く用いられているが内装材に求められる性能として耐傷付き性がある。複合 PP の耐傷付き性の改良は従来多くの検討がなされ配合設計技術は確立されているが、その理論的な説明は必ずしもなされていた訳ではなかった。傷付き性を定量的に評価する装置が ASTM 法として新たに開発された⁸⁾のを契機に理論的なメカニズム解析研究が進み、新たな耐傷付き性 PP の開発に貢献している。図 10 にそれら研究の例を示す⁹⁾。

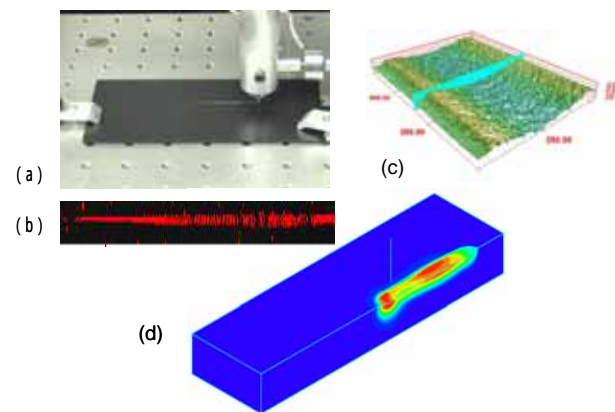


図 10 (a)ASTM 連続加重式傷試験機、(b)傷形状の 2 値化、(c)傷形状の 3D 定量化、(d)CAE による解析

3) 形態観察技術の向上

電子顕微鏡によるポリマー構造の観察は材料設計のための有力なツールであるが観察が 2 次元的であり、3 次元的な物性や機能の理解のためには制限があった。近年、TEM トモグラフィー技術の進歩と共に PP 系材料においても 3 次元での微細構造の情報が得られるようになった。図 11 は PP 結晶構造の観察結果であるが、PP 結晶の構成単位であるラメラ晶の 3 次元構造が明確に観察される¹⁰⁾。

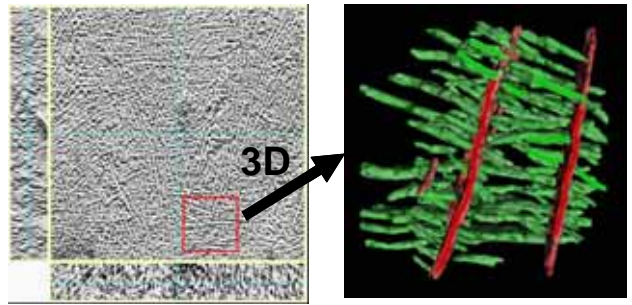


図 11 PP 結晶の 3 次元観察結果

このような形態観察技術の向上は今後開発されるべくナノ構造を制御した新しい PP 系材料の開発に有効に活用されると期待される。

4) 植物樹脂との複合化

PP はリサイクル性に優れ、低比重であることに加え図 12 に示すように LCA の観点からも優れた特性を有する材料であることが知られている。

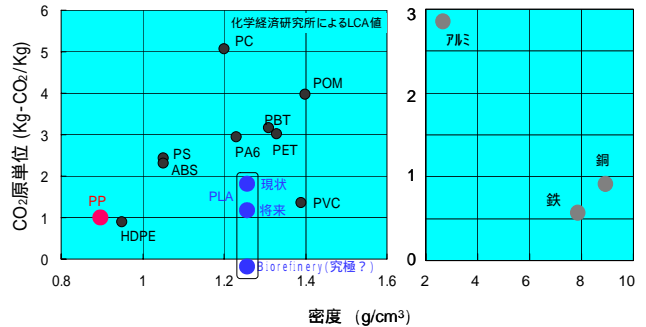


図 12 各種材料の密度と CO₂ 原単位

しかしながらその原料が石油由来のナフサであることより、石油に依存しない材料の自動車材料への可能性が検討されている。ポリ乳酸、ポリブチレンサクシネート (PBS) 等の植物由来樹脂はその最も近い樹脂として知られているが成形性、力学物性に劣り問題が多い。

PP との複合化によりその欠点を解消する有効な手法として PP をスキン、植物由来樹脂をコアにするサンドイッチ成形形を利用した検討が進んでいる¹¹⁾。PP と PBS とのサンドイッチ成形において両ポリマー間は親和性に乏しいため界面強度の向上が必要である。コア部分を PP とアロイ化し、更にそのモルフォロジーを成形時のレオロジー制御にて最適化することにより界面強度を向上させた成形体を得ることができた。図 13 にその構造模式図と TEM 観察写真を示す。この成形体は単純なアロイと比較し、耐加水分解性などの利点が多い。

5) ケモインフォマテック手法の利用

自動車用の PP 多くは PP、エラストマー、無機フィラー等を複合化させた複合 PP であるが、用途毎、自動車メーカー毎に要求特性が異なるカスタマーメイドのグレードであることが多い。更に、自動車のモデルチェンジにも対応し、コストも含めた要求特性が都度進化され、迅速な材料開発が要求される分野である。

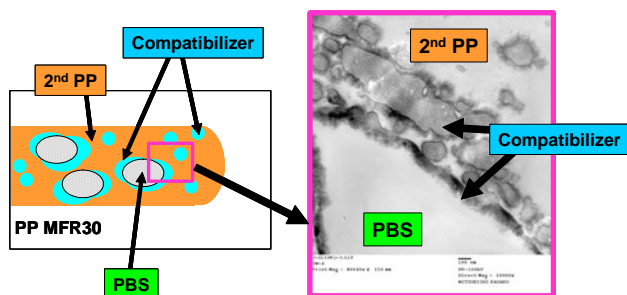


図 13 PP/PBS サンドイッチ成形体のモルフォロジー

ケモインフォマテック手法は PLS 法等を用い、目的変数、従属変数間の相互予測を可能とする手法であるが、複合 PP の材料設定への利用が可能である¹²⁾。複合 PP 材料の設計は過去からの経験・知見に依存することが多いが、これを利用することによりその効率が大幅に向上する¹³⁾。図 14 にその概念図を、図 15 には複合 PP の代表的な物性値の予測値と実測値の相関を示す。

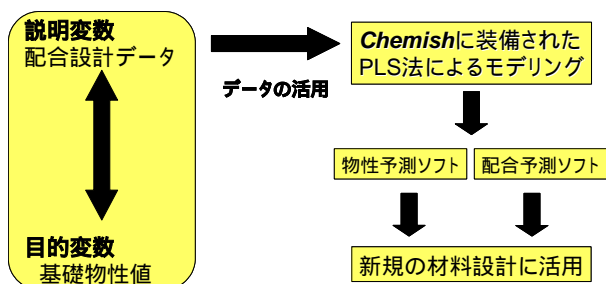


図 14 ケモインフォマテック手法のプロセス

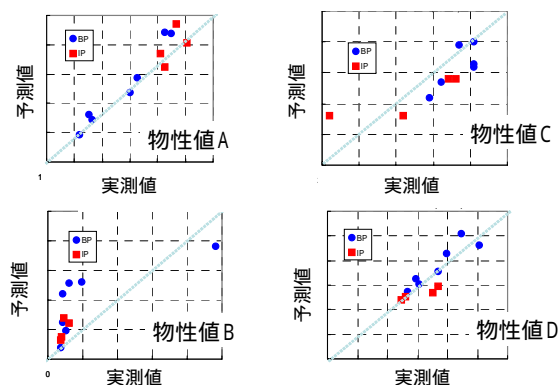


図 15 ケモインフォマテック手法による予測値と実測の相関

7. 今後の展望

コストパフォーマンス、環境特性のメリットより、自動車材料分野での PP の利用は今後も求められ続けると考えられる。これからは既存の自動車部品のコストパフォーマンスを向上させるだけでなく、新たな機能の付与や新規の部品への展開を可能にすべく成形加工技術も組み合わせた開発が望まれ、前章で述べた基盤研究の展開が望まれる。

新たな材料・工法を用いた自動車部品の設計という観点からは材料メーカーのみならず、自動車・部品メーカーとのコラボレーションが必要であるが、材料メーカーとしてもその議論に応え提案できるべく設備面も含めた機能拡充が必要である。このような動きは近年多くの素材メーカーにても盛んであるが、日本ポリプロ(株)では

三菱化学(株)グループ全体の総合窓口である自動車関連事業推進センターとともに、部品評価・設計を支援するカスタマーラボの活用やプラスチック素材を駆使した将来の自動車のコンセプトなどの提案も行っている(図 16)。以上のような観点からの活動も新しい自動車材料・部品の開発に向け継続したい。



図 16 化学が変わる未来の車

<引用文献>

- 1) 安田, JETI, 50(2), 35(2002)
- 2) 吉田、庄野、小川、川本、田中、梶岡、マツダ技法, 20, 103(2003)
- 3) 藤田、未来材料, 5, 9 (2005)
- 4) 若松、大西、佐藤、早乙女、寺田他、自動車技術会春期大会 (2007)
- 5) Polymotive March/April Page08 ~ 09 (2007)
- 6) 尾谷、素形材, 11, 2 (2004)
- 7) 金井、高分子, 53, 796 (2004)
- 8) J. Chu, C. Xiang, H. J. Sue, R. Hollis, Polym. Eng. Sci., 40, 944 (2000)
- 9) 藤原、伊藤、残華、宮坂、藤田、横溝、H. J. Sue, 成形加工学会秋期大会 (2007)
- 10) H. Matsumoto, Y. Fujita and H. Sano, Preprint of International Symposium on Polymer Crystallization (ISPC07), 2007
- 11) Y. Fujita, T. Yoshida, H. Sano, M. Kotaki, Y. Hamada, Preprint of ANTEC2007 (2007)
- 12) 植村、荒川、船津、J. Computer Added Chem., 7, 69 (2006)
- 13) 増田、東京大学俯瞰環境工学、公開シンポジウム講演要旨集 (2008)