

氏 名	まえだ けいすけ <b>前田 恵介</b>
学位(専攻分野)	博 士 ( 工 学 )
学 位 記 番 号	博 甲 第 8 0 1 号
学位授与の日付	平成 28 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研 究 科 ・ 専 攻	工芸科学研究科 先端ファイブ科学専攻
学 位 論 文 題 目	<b>薄肉ポリプロピレン射出成形品の内部構造と物性発現に関する研究</b>
審 査 委 員	(主査)教授 西村寛之 教授 濱田泰以 准教授 横山敦士 加納・アメリカ・ホールディング 加納 US マテリアル・リサーチ・センター センター長 小滝雅也

## 論文内容の要旨

樹脂製品の代表的な製造方法で作製された射出成形品には、経済性や環境性の向上を目的とした軽量化が求められており、成形品の薄肉化はこの課題の解決策のひとつとして適用されている。本論文では、汎用樹脂であるポリプロピレン (PP) を用いて薄肉射出成形品における内部構造と物性発現の関係を理解することを目的とした。具体的には、PP 射出成形品の内部構造および物性に及ぼす射出速度、母材樹脂の分子量および分子量分布、および添加するエラストマーの分子量の影響について検討した。成形品物性としては、引張特性および破壊じん性を評価した。破壊じん性の測定には、本質破壊仕事 (Essential Work of Fracture) 試験を適用した。さらに、内部構造と成形品物性の関係を明らかにするため、成形品内厚さ方向の物性分布を評価した。物性分布として、微小切削法を用いたせん断強度分布、ミクロトームにより成形品から切り出したフィルム試料を用いて引張特性分布を評価した。

第 1 章では、緒言として PP 射出成形品、特に薄肉成形品の内部構造と物性に関する研究動向を述べ、本研究の学術的な意義と目的を述べた。

第 2 章では、射出速度の相違が内部構造と物性に与える影響について検討を行った。その結果、低い射出速度の試料は高い射出速度の試料と比較して厚いスキン層を形成すること、このスキン層は分子配向性、結晶配向性および長周期ラメラの配向性が高いことが明らかとなった。このスキン層は、コア層と比較して高い弾性率および降伏応力を有することがわかった。コア層の物性は、射出速度に依存しなかったことから、成形品の引張特性の増大には、スキン層厚の増大、つまり高い引張特性を有する領域の増大が寄与したことが示された。成形品の破壊じん性に関しても、 $\beta$  晶分率の増大よりも配向領域の増大がより強い影響を与えることがわかった。

第 3 章では、母材樹脂の分子量と分子量分布の相違が内部構造と物性に与える影響について検討を行い、分子量および分子量分布の相異により、異なる内部構造が形成されることがわかった。その結果、表層の配向層の物性の強弱ではなく、配向層領域の厚さが成形品物性を支配していることが示された。破壊じん性においても、第 2 章と同様  $\beta$  晶分率の影響は小さく、分子・長周期ラメラの配向性が大きく影響していることがわかった。

第4章では、エラストマー添加とその分子量の相違が内部構造と物性に与える影響について検討を行った。その結果、エラストマー添加およびその分子量の増大は、成形品の結晶配向性と $\beta$ 晶分率を増大させることが示された。エラストマー添加系においても、成形品物性は、表層部の物性が成形品物性に影響を与えることがわかった。また、エラストマーの添加とその分子量の増大は、破壊じん性を大きく向上させるとともに、 $\beta$ 晶分率の増大が破壊じん性に影響を与えることが明らかとなった。

第5章では、以上の検討により得られた成果を総括し、結論とした。薄肉ポリプロピレン射出成形品の物性には、表層部の高い物性を有する領域の厚さが大きく影響すること、この高物性領域は、高い分子配向性、長周期ラメラおよび結晶配向性により形成されていることが明らかとなった。また、成形品の破壊じん性値の増大は $\beta$ 晶分率の増大だけでなく分子、結晶および長周期ラメラが高度に配向した層の厚さに強い影響を受けていることが示された。したがって、成形品の破壊じん性は、 $\beta$ 晶の発現だけでなく表層の配向層厚の増大によっても向上させることができることが明らかとなった。本研究で得られた知見は、薄肉射出成形品におけるバルク物性および破壊じん性の発現についての理解に貢献するとともに、より軽量で優れた物性を有する製品設計の指針となるものと考ええる。

### 論文審査の結果の要旨

薄肉射出成形品の内部構造、成形品内厚さ方向の物性分布および成形品物性の関係を系統的に検討し、成形品物性の発現において内部構造と物性分布の関係を明確にしたことが本論文の特長である。薄肉射出成形品においては、配向構造を有し、優れた物性を有する表層の配向層厚さが、成形品物性を支配する主要因であることを明らかにした。これらの結論は、成形品内部の厚さ方向の構造分布と物性分布を詳細に検討した結果得られたものであり、ポリマーの構造と物性に関する知見構築の観点において、学術的に高く評価される。また、射出成形品、特に薄肉射出成形品の成形品物性の発現機構を明らかにしたことは、工学的な観点においても高い達成度を有している。本研究において得られた成果は、今後の薄肉射出成形品の更なる適用範囲の拡大に貢献することが期待できる。

本論文の内容は次の5報に報告されており、5報すべてが申請者を筆頭著者とするものである。

1. Keisuke Maeda, Koji Yamada, Kazushi Yamada, Masaya Kotaki, and Hiroyuki Nishimura, "Structure and fracture toughness of thin-wall Polypropylene molded at different injection speeds", Journal of Applied Polymer Science (Submitted).
2. Keisuke Maeda, Koji Yamada, Kazushi Yamada, Masaya Kotaki and Hiroyuki Nishimura. "Skin-core structure and fracture toughness of thin-wall polypropylene molded at different injection speed", Materiaru Raifu Gakkaishi (Journal of Material Life Society) 10th International Symposium on Weatherability (10th ISW), Vol. 27, pp.79-88 (2015).
3. Keisuke Maeda, Koji Yamada, Kazushi Yamada, Masaya Kotaki and Hiroyuki Nishimura. "Effect of molecular weight and molecular distribution on skin structure and shear strength distribution near the surface of thin-wall injection molded polypropylene", Open Journal of Organic Polymer Materials, Vol.6, No.1, pp.1-6 (2016).
4. Keisuke Maeda, Koji Yamada, Kazushi Yamada, Masaya Kotaki and Hiroyuki Nishimura, "The

relationship between bulk property and property distribution in thin-wall injection molded PP at different molecular weight and molecular weight distribution”, Advances in Materials Physics and Chemistry, Vol.6, No.1, pp.1-8 (2016).

5. Keisuke Maeda, Chikako Ohsara, Koji Yamada, Kazushi Yamada, Masaya Kotaki, and Hiroyuki Nishimura, “Effect of rubber addition on structure and property of thin-wall injection molded polypropylene”, ANTEC Indianapolis 2016 (Submitted).

以上の結果より、本論文の内容は十分な新規性と独創性、さらに工業的な意義があり、博士論文として優秀であると審査員全員が認めた。