

|              |                                                                                   |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Title        | 長尺形状の結晶性プラスチック材料が曲げ変形下で示す力学特性に関する研究                                               |
| Author(s)    | 蜂須賀, 良祐                                                                           |
| Citation     |                                                                                   |
| Issue Date   | 2021-09                                                                           |
| Type         | Thesis or Dissertation                                                            |
| Text version | ETD                                                                               |
| URL          | <a href="http://hdl.handle.net/10119/17537">http://hdl.handle.net/10119/17537</a> |
| Rights       |                                                                                   |
| Description  | Supervisor:山口 政之, 先端科学技術研究科, 博士                                                   |

|               |                                     |          |                  |
|---------------|-------------------------------------|----------|------------------|
| 氏 名           | 蜂須賀 良祐                              |          |                  |
| 学 位 の 種 類     | 博士（マテリアルサイエンス）                      |          |                  |
| 学 位 記 番 号     | 博材第 524 号                           |          |                  |
| 学 位 授 与 年 月 日 | 令和 3 年 9 月 24 日                     |          |                  |
| 論 文 題 目       | 長尺形状の結晶性プラスチック材料が曲げ変形下で示す力学特性に関する研究 |          |                  |
| 論 文 審 査 委 員   | 主査                                  | 山口政之     | 北陸先端科学技術大学院大学 教授 |
|               |                                     | 谷池俊明     | 同 教授             |
|               |                                     | 桶菰興資     | 同 准教授            |
|               |                                     | ホ アン ヴァン | 同 准教授            |
|               |                                     | 吉岡真弥     | 大阪電気通信大学 教授      |

## 論文の内容の要旨

Plastic products are indispensable in our modern life. Especially in the fields of home appliances and daily necessities, a wide variety of products using crystalline plastic materials are on the market. These are used for a certain period of time in a situation close to the human body. Therefore, safety is strongly required. In particular, fracture under bending deformation must be avoided. However, most crystalline plastic materials show a brittle fracture when a bending load is applied. Hence, the improvement of mechanical properties is demanded for the industrial application.

In this study, the purpose is to establish a novel design method that realizes fracture suppression under bending deformation from the viewpoint of "structural control of injection-molded parts" mainly using polypropylene and polyoxymethylene as typical crystalline plastic materials. The thesis is composed of the following chapters.

### Chapter 1 General introduction

### Chapter 2 Improvement of fracture toughness of crystalline plastic materials using laminated structure

The effect of elastomer lamination on the failure mode of bar-shaped injection molded specimens using isotactic polypropylene was demonstrated during bending deformation. When a thermoplastic elastomer sheet was laminated on polypropylene, the specimen showed high mechanical toughness without stress whitening. Although rubbery materials have low tensile moduli, their bulk moduli are comparable to those of plastics. Therefore, the laminated elastomer, located inside of the bending deformation, prohibits sharp bending angles, leading to stress concentration, during the deformation. As a result, craze formation, which is the origin of stress whitening and leads to brittle fracture, hardly occurs. Since this elastomer lamination method can prevent a molded product from being destroyed when an excessive external force is applied, it can be employed more for various applications in bar-shaped goods that require safety.

### Chapter 3 Audible sound generation of crystalline plastic material using hinge structure

Audible sound generation due to snap-through buckling during bending deformation was studied using an injection-molded specimen with a hinge mainly using polyoxymethylene. The sound was clearly generated in rigid plastic materials with a specific shape of the hinge that was markedly deformed. The large elastic energy stored in the hinge by the bending deformation, which was suddenly released during buckling deformation, was responsible for the increased sound pressure levels. This phenomenon investigated in this study will be useful in the design of bar-shaped intelligent plastic products that alert users to stress levels, thereby ensuring their safety. Furthermore, the rapid decrease

in the stress is also effective to avoid brittle fracture leading to sharp edges of broken pieces.

## Chapter 4 General conclusion

### Key words

Polypropylene, polyoxymethylene, Mechanical properties, bending deformation, Structural control

### 論文審査の結果の要旨

本学位論文は、代表的な結晶性プラスチック材料であるポリプロピレン（PP）とポリオキシメチレン（POM）を用いた長尺形状の射出成形体に関して、曲げ変形下における破壊抑制の新手法を提案するものである。身体と接触する環境で長期間使用される日用品には、結晶性プラスチック材料が頻繁に用いられている。これらの製品にとって安全性の確保は極めて重要であり産業界から強く望まれている。力学特性を向上させて破壊を抑制する手法として、ポリマーブレンドおよび副資材の添加といった“マテリアルの材料組成”の面からの研究が精力的に検討されている。しかしながら、目的とする力学特性を向上させると他の特性を意図せずに低下させることも多かった。本研究では、本問題を回避して安全性を確保することを目的とし、これまでに深く研究されていなかった“成形体の形状”に着目したアプローチを行い、学術面からだけではなく実用性も考慮した新規手法の開発に取り組んでいる。

PP に関しては、成形体の厚みを薄くして平面応力状態とすることにより、曲げ変形下において応力白化が抑制できることを明らかにした。なお、応力白化は材料中に生じたボイドが原因であり、脆性的な破壊に繋がる。さらに、小さな荷重では変形するが、圧縮するためには大きな荷重が必要となる熱可塑性エラストマーと積層することで、曲げ剛性は高いものの応力白化を生じにくい成形体とすることに成功した。本手法により、過剰な外力が長時間負荷した場合でも成形体の脆性破壊を防ぐことができる。実際にこのコンセプトを用いて子ども用歯ブラシを設計しており、有用性の高さがわかる。

POM に関しては、“成形体に過剰な外力を負荷させない”という独創的な視点から、ヒンジ構造の飛び移り座屈現象を利用した可聴音の発生に取り組んでいる。種々の結晶性プラスチック材料を検討した結果、弾性率が高い POM 試験片は飛び移り座屈時に大きな力学的エネルギーを放出し、70 dB 程度の十分に認知可能なレベルの音が発生することを明らかにした。また、ヒンジの形状（ヒンジ高さ）も同様に可聴音の発生に影響することを明らかにした。本手法により、成形体に負荷できる臨界荷重を使用者に聴覚で認識させることができる。破壊を避け、ブラッシング時に歯牙に負荷する適正な荷重が認識できる大人用歯ブラシに導入し実用化されている。

以上、本学位論文は、結晶性プラスチック材料を用いた長尺形状の成形体の特性向上に関する新規手法を提案するだけに限らず、その応用方法を示唆するものである。その研究成果は、学術的な貢献に限らず、実用的な面からも産業界にも多大な影響を与えている。よって、本学位論文は本学が定める博士（マテリアルサイエンス）の学位論文の水準を十分に満たすものであり、審査委員全員一致で合格と認めた。