

# 論文内容要旨 (和文)

平成19年度入学 大学院博士後期課程

物質生産工学専攻

講座

学生番号 07522207

氏名 佐藤 淳



(英文の場合は、その和訳を ( ) を付して併記すること。)

論文題目 高分子成形加工への超音波適用に関する基礎研究

プラスチック製品は、高性能化、高機能化が進められており、既存の成形加工技術では対応が困難となってきた。そこで、慣性、すべり、局所加熱作用があることで知られている超音波を高分子成形加工に適用することを試みた。

超音波による慣性に着目して、射出成形用金型全体を超音波で振動させる超音波射出成形（以下 UIM と略す）システムを製作し、慣性の効果を検討した。その結果、マイクロプリズムの成形品を用いて微細形状の転写性を評価した結果、UIM では通常成形と比較して微細形状の転写性が向上した。転写性が向上するメカニズムは、超音波の慣性力と局所加熱作用によるものと考えられる。すなわち、樹脂充填過程では、超音波の慣性力により樹脂が微細形状の細部に入り込み、樹脂充填完了後の保圧過程では、スキン層と熔融層の間で超音波エネルギーが吸収され、この界面で発熱してスキン層の変形抵抗が低減して保圧力により転写性が向上するものと考えられる。

次に、超音波によるすべりに着目して、射出成形および押出成形におけるすべりの効果を検討した。まず、実際にすべりが起こっているかどうかを確認するため可視化実験を行った。その結果、超音波の印加面では、流速が速くなっていることを確認し、すべりが発生していることがわかった。また、可視化実験より流動複雑屈折を観測した結果、超音波を印加した場合、流動応力が低減していることがわかった。上記結果を基に、射出成形における超音波のすべりの効果を検証するためにスパイラルフロー長による流動性の評価を行った結果、UIM では通常成形と比較して、スパイラルフロー長が増大した。流動性が向上することが確認できたため、実製品におけるすべりの効果を確認した。実製品としてスピーカーコーンを用いて薄肉化検討を行った結果、約20%程度薄肉化できることがわかった。次に、押出成形へ超音波を適用した結果、成形圧力（樹脂圧力）が超音波の振幅の増大にともない、低減することがわかった。押出成形では、生産速度を増大させるとメルトフラクチャーという不良現象が発生する。メルトフラクチャーは、ダイ材質と熔融樹脂間の接着性に起因するといわれている。まず、接着性に起因しているかどうかを確認するため、各種金属と熔融樹脂の接着性の評価を行い、接着性が大きい金属と小さい金属（金属コーティングも含む）を用いて、メルトフラクチャーの評価を行った。その結果、接着性が小さい金属では、大きいものと比較して、メルトフラクチャーの発生し始める臨界せん断速度が約1.5倍となった。したがって、ダイ材質と熔融樹脂間の接着性が小さければメルトフラクチャーが発生しにくいことがわかった。そこで、超音波を印加すればすべり効果によりダイ材質と熔融樹脂の接着性が低減してメルトフラクチャーが低減する可能性があるため、インフレーション成形で検討を行っ

た。その結果、超音波を印加した場合、通常成形と比較してメルトフラクチャーが発生し始める臨界せん断速度が4倍以上となることがわかった。また、押出成形で問題となる不良現象の一つである目ヤニに関して検討を行った。目ヤニの発生原因の一つとして、押出口でスウェルにより樹脂がこすれて発生するといわれている。上記可視化実験より、流動時の応力が低減するため、スウェルが低減することが予想できる。そこで、スウェルの大きいエラストマー系の樹脂を用いて目ヤニを評価した結果、目ヤニが低減することを確認した。

最後に、超音波の伝播効果について検討した。上記 UIM システムでは、金型全体を振動させるため、複雑形状の金型へは適用できないという問題点がある。そこで、超音波を金型の一部に印加し、樹脂を介して伝播させた場合の効果について検討した。UIM 装置を改良して超音波をスプルー部の反対側から印加できる金型を製作し、改良型超音波射出成形（以下 UIM-II と略す）システムを製作した。UIM-II を眼鏡レンズへ適用した結果、樹脂充填完了後に超音波を印加した場合、通常成形と比較して曲面転写性が向上し、光学歪が低減した。転写性向上のメカニズムは、主に超音波流動（oscillatory flow）によるものと考えられる。樹脂充填完了後に超音波を印加すると、印加部の樹脂が加熱され、超音波による超多段圧縮により超音波流動が発生することを見出した。超音波の局所加熱作用によりスキン層の変形抵抗が低減し、超音波流動により樹脂の不足分が補填され、最終的に局面転写性が向上したのと考えられる。また、同時に超音波の局所加熱作用により、肉厚分布がある眼鏡レンズの冷却時の冷却の不均一性が緩和され、光学歪が低減したのと考えられる。次に、UIM-II を用いて回折格子レンズの微細形状転写性を評価した結果、眼鏡レンズへの適用と同様、樹脂充填完了直後に超音波を印加すると転写性が向上することがわかった。転写性向上のメカニズムは眼鏡レンズの場合と同様と考えられる。小型の射出成形機へ適用する場合、上記方法の金型を用いることができないため、金型の上部からランナー部に超音波が印加できるような金型を製作し、Line&Space の微細形状の転写性を評価した。その結果、上記の方法と同様、転写性が向上した。したがって、超音波を樹脂流路のどの部分に印加しても、超音波の効果が得られることがわかった。

高分子の成形加工へ超音波を適用した結果、超音波の慣性効果により転写性が向上し、すべり効果により流動性が改善され、伝播効果により再溶融や再流動を起こさせることが可能であることがわかった。また、本技術は、構造制御技術として活用できることがわかった。

## 論文内容要旨 (英文)

平成19年度入学 大学院博士後期課程

物質生産工学専攻

講座

学生番号 07522207

氏名 佐藤 淳



論文題目 Application of Ultrasonic Wave to Polymer Processing

Injection molded precision products have consistently improved in performance and function over the past years. For that reason, an ultrasonic injection molding (UIM) system, which applies ultrasonic waves to injection molding, as a precision injection molding technology was developed.

Replication of a microstructure was evaluated by UIM system. The results showed that the replication ratio of the microstructure was improved by the UIM system in comparison with the conventional molding. The mechanism of the improvement of replication in UIM could be attributed to the inertia force acting on the polymer melt due to ultrasonic vibration during the melt filling process. The behavior of resin flow under ultrasonic waves was evaluated by slit die in the extrusion by flow visualization experiments. Wall slip was observed between the resin and wall surface with ultrasonic vibration. The fluidity of resin was evaluated by UIM system. The results allowed the improvement of the apparent fluidity of resin compared to the case without ultrasonic vibration. The melt fracture caused by adhesion between the resin and wall surface was evaluated in the inflation molding. The critical shear rate of the melt fracture in the ultrasonic inflation molding was improved four-fold or more compared with the conventional molding because of the wall slip. The UIM system is difficult to apply for a complex mold. Accordingly, the improved UIM (UIM-2) system was developed. The UIM-2 system is designed to focus the ultrasonic wave on a part of resin flow channel in the mold. The replication of spherical surface and residual optical strain of concave lens were evaluated by UIM-2. Results showed that, by applying ultrasonic waves, oscillatory flow was generated inside the cavity. Because of ultrasonic energy absorption, local heating was generated inside the resin, resulting in the formation of oscillatory flow during the holding stage. The surface finish of the molded lens was significantly improved in UIM-2 compared with that in conventional molding. Consequently, replication during the holding stage is facilitated by the UIM-2. Moreover, evaluation of the residual optical strain of the lens revealed that the strain was much lower in UIM-2 than in conventional molding. The decreased strain was attributed to the local heat generation by the ultrasonic waves.

## 別紙

専攻名	物質生産工学	氏名	佐藤 淳
学位論文の審査結果の要旨			
<p>本論文は、強力超音波を高分子成形加工へ適用した新規成形加工技術に関する研究成果についてまとめたものであり、全5章から構成されている。各章の概要は以下のとおりである。</p> <p>第1章では、本研究の背景となる射出成形をベースとした各種成形加工技術の概要と強力超音波の概要について述べている。</p> <p>第2章では、高分子成形加工における超音波の慣性力の作用について記述している。超音波の慣性力が利用できる装置の概要を説明し、その原理について記述している。射出成形時に超音波の慣性力を適用した結果、微細形状の転写性が向上することを把握し、実際にキャビティ内圧力計測から慣性力を観測した。慣性力が転写性向上のメカニズムの一因であることを見出している。上記結果を基に、DVDクリア基板の実成形へ超音波を適用した結果、転写性が向上し、光学異方性が低減した。光学異方性が低減するメカニズムは、超音波振動下におけるP・v・T測定から、超音波の局所加熱作用によることを見出している。</p> <p>第3章では、高分子成形加工における超音波のすべり作用について記述している。射出成形時におけるすべり作用を検討した結果、樹脂の流動性が向上し、分子配向が低減することを把握し、構造制御技術として有用であることが記載されている。スピーカーコーンの薄肉成形へ超音波を適用した結果、約20%の薄肉化が可能であることを検証している。押出成形時におけるすべり作用を検討した結果、成形時の圧力が大きく低減することを把握し、樹脂圧力の挙動や可視化実験から、本成形圧力の低下はすべりによるものと考察している。上記押出成形の検討結果を基に、インフレーション成形へ適用した結果、すべり作用によりメルトフラクチャー（不良現象）が低減することを検証している。</p> <p>第4章では、高分子成形加工における超音波の伝搬作用について記述している。第1章の射出成形装置では複雑形状の金型等への適用が困難なため、超音波の伝搬を利用して、上記と同様な超音波の効果が得られるかどうかについて検討している。金型内の樹脂流路の一部に超音波を適用した結果、転写成形が向上し、光学ひずみが低減することを見出している。上記結果のメカニズムは、超音波流動と局所加熱作用によるものと考察している。</p> <p>第5章では、本論文の総括を行っている。</p> <p>これら一連の研究は、強力超音波をプラスチック成形加工プロセスに適用する新たな試みであり、工学として学術的解明かつ実用的な貢献という観点からも寄与が大きく、世界的にも注目される内容であった。</p> <p>本研究の成果は、4報の学術論文（英文2報）としてまとめられており、3報が掲載済み、1報が印刷中である。さらに、1報（英文）を投稿準備中である。国際学会では4件の発表（内2件は査読付）を行い、そのうち2回はキーノート講演に選出されている。国内学会発表では12件の発表を行い、成果公表についても十分満足できるものである。</p> <p>以上を総合的に判断し、本論文に関する研究およびその成果は、博士（工学）学位論文の研究としての水準を満足しているため、合格と認定する。</p>			
最終試験の結果の要旨			
<p>本学の規定に従い、本論文および関連分野に関して口頭により最終試験を行った。最終試験は、学位論文を中心とした60分の口頭発表、ならびに30分の質疑応答により実施した。その結果、学位論文の内容、ならびに関連分野に関する理解度は十分にあり、博士として必要とされる専門知識および研究能力を十分に備えているものと判断し、合格と判定した。</p>			