

氏名	田口 宏之		
学位の種類	博士 (情報工学)		
学位記番号	情工博甲第392号		
学位授与の日付	令和6年3月25日		
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当		
学位論文題目	Fused Deposition Modelingの積層条件がスナップフィットの機械特性と締結音に与える影響		
論文審査委員	主査	教授	檜原 弘之
		〃	鈴木 恵友
		〃	梅田 政信
		准教授	是澤 宏之

学位論文内容の要旨

プラスチックのマテリアルリサイクル推進が重要な課題となる中、本研究では易分解性の高い接合方法である片持ち梁型のスナップフィットに着目した。スナップフィットは荷重をかけて変形させることによって部品同士を組付け、変形が元に戻ることによって締結が完了する。したがって、締結・分解などに必要な力や剛性などの特性は材料特性に大きな影響を受ける。また、スナップフィットは使用者の感覚に基づく評価（感性評価）が重要であるため、射出成形機等で製作する量産用の成形品と同等の評価が可能な試作を行いたいというニーズが高い。それを実現するための方法の1つとして、本研究ではFused Deposition Modeling (FDM) による試作に着目した。FDMは低コスト、短納期で試作が可能で、かつ成形品と同じ材料を使用することができる。スナップフィットの特性は材料特性に大きな影響を受けることから、同じ材料が使用できることは大きなメリットである。一方、FDMには様々な積層条件があり、材料特性が積層条件によって変化することが予想される。試作品と成形品の評価結果が一致するためには、スナップフィットの特性に与える積層条件の影響を明確にすることが重要な課題だといえる。この課題を解決するために本研究を行った。

本研究では機械特性について2つのテーマ、締結音について1つのテーマを実施した。さらにこれから3つのテーマにおいて、試作品と成形品の評価結果の一致を実現するための指針について検討を行った。

以下に各章の概要を述べる。

第1章では、プラスチックのリサイクル、スナップフィットの設計段階における課題、FDMの概要を述べ、本研究の背景としてまとめた。また、スナップフィットにおける試作の重要性と試作品と成形品の評価結果の一致を目指すためのステップについて記述した。章の最後に研究の目的および本論文の構成について記述した。

第2章では、FDMの積層条件の1つであるノズル温度に焦点を当て、スナップフィットの機械特

性に与える影響について記述した。ノズル温度を変えると、FDM材料の断面に生じるボイドの比率（実充填率）が変わる。本研究の条件ではノズル温度が上昇すると実充填率が低下する傾向を示した。ノズル温度が上昇（実充填率は低下）すると、降伏応力が低下した。FDMでスナップフィットを試作する場合、降伏応力の低下を防ぐために実充填率が大きくなるようなノズル温度を選定する必要があることを示した。

第3章では、FDMにより作製された低アスペクト比スナップフィットに関して、積層条件（ツールパス）が機械特性に与える影響について記述した。近年、情報機器などにおいて製品の小型化のニーズが高まっており、それに伴いスナップフィットも小型化が求められることが多くなっている。一般に梁高さとの比であるアスペクト比が十分大きなスナップフィットであれば、せん断変形の影響が小さいため、ベルヌーイ・オイラー梁の理論により精度の高い計算結果を得ることができる。しかし、アスペクト比が小さくなるとせん断変形の影響を無視することができなくなる。そこでティモシェンコ梁の理論を活用し、3点曲げ試験の結果を統計的に処理することにより、FDM材料の縦弾性係数とせん断弾性係数を求めた。本研究の条件では、縦弾性係数が大きくなるツールパスでは、せん断弾性係数が小さくなること、すなわちせん断変形の影響が大きくなることを示した。この結果より、せん断弾性係数が小さくなるようなツールパスにおいて、アスペクト比が小さい場合、成形品同等の特性にするためには梁高さを大きくするなどの換算が必要だということを示した。

第4章では、FDMの積層条件（ツールパス）の違いがスナップフィットの締結音に与える影響について記述した。さらにFDMと成形品（射出成形により作製）の締結音の違いについても述べた。スナップフィットの締結音は非常に短時間のうちに生じる。したがって締結音は短い時間に生じる音に適した手法で解析する必要がある。本研究ではウェーブレット解析を活用して締結音を解析した。ウェーブレット解析の結果、FDMおよび成形品の双方の試験片において締結音から複数の連続的な周波数が観測された。観測された音は急速に増加し、数十ミリ秒以内に減衰した。ピーク周波数は双方ともに概ね10,000から16,000Hzの間で観測された。締結音の周波数が縦弾性係数と密度の比の平方根に影響を受けることを考察し、締結音についてはFDM製の試作品と成形品の評価結果が一致する可能性があることを示した。

第5章では本研究の概要を改めて示すとともに、得られた研究結果を総括し、その結果を記述した。また、今後に残された課題について最後にまとめた。

学位論文審査の結果の要旨

本研究は、世界的問題であるプラスチックリサイクルを解決する一手段として易分解性の高い接合方法である片持ち梁型のスナップフィットに着目している。製品導入への設計段階で、試作品と成形品の評価結果が一致する試作品品質が重要な課題であるとして、スナップフィットの特性に与える Fused Deposition Modeling 試作技術（FDM）の積層条件の影響を明確にする研究が行われている。ス

ナップフィットの締結・分解に必要な力や剛性等の機械特性は、積層条件に大きな影響を受ける。本研究では、FDMによるナップフィット試作で、降伏応力の低下を防ぐために実充填率が大きくなるノズル温度選定の必要性を明らかにしている。

また、縦弾性係数が大きくなるツールパスでは、せん断弾性係数が小さくなる、すなわち、せん断変形の影響が大きくなることを明らかにしている。この結果より、せん断弾性係数が小さくなるようなツールパスにおいては、アスペクト比が小さい場合に、成形品同等の特性にするためには梁高さを大きくするなどの換算の必要性を明らかにしている。

またナップフィットは締結音などの使用者の感覚に基づく評価（感性評価）が重要となる。

FDMと成形品（射出成形により作製）の締結音の違いについて、ウェーブレット解析の結果、FDMおよび成形品の双方の試験片において締結音から複数の連続的な周波数が観測された。締結音についてはFDM製の試作品と成形品の評価結果が一致する可能性を明らかにしている。

以上により、論文調査及び最終試験の結果に基づき、審査委員会において慎重に審査した結果、本論文が、博士（情報工学）の学位に十分値するものであると判断した。