

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 9 日現在

機関番号：32621

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K17948

研究課題名(和文)熱可塑性CFRPの任意形状の薄版成形を可能とする新規逐次3次元成形技術の開発

研究課題名(英文)Development of incremental forming method for CFRTP

研究代表者

田中 秀岳(TANAKA, Hidetake)

上智大学・理工学部・准教授

研究者番号：10422651

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では逐次成形による樹脂薄板成形を提案した。熱可塑性樹脂を加熱により軟化させた場合温度管理が非常に難しい。本研究では成形材料として、軟化後も繊維強化により自重を支えることができ良成形性を持つ短繊維の熱可塑性CFRPを用いた。予備実験により成形に適した温度域と加工中の材料劣化についての知見及び全体加熱を用いての成形実験により試料全体に適した温度に保つことは難しいという知見を得た。そのため、加工部のみを局所的に加熱し、フィードバック制御により目標温度に保ちながら成形を行うシステムを用いて成形実験を行った結果、局所加熱の適用により過熱による破れや垂れ下りの抑制が可能であるという知見を得た。

研究成果の概要(英文)：We proposed a forming method of resin sheet which use incremental forming. Incremental forming method is practically used as a method of RP/RM method of metal plate. In this forming method, thermoplastic resin sheet was softened by heating, and softened resin was pressed discretely, finally objective shape by accumulated deformation is obtained. Temperature control for keeping resin in formable temperature is difficult, due to the resin has narrow temperature range from begin soften to melt down. In this study, knowledge was obtained about the material degradation during processing, and formable temperature range by preliminary experiments. The forming system which can heating locally only processing point, and performs the molding while maintaining the target temperature by feedback control was developed. As a result, it is possible to suppression of crack and sagging of the sample due to overheating by the application of local heating.

研究分野：加工・計測・機能性評価

キーワード：炭素繊維強化樹脂 CFRTP CAD/CAM 逐次成形 3Dプリンティング 逐次加熱

1. 研究開始当初の背景

近年では、ニーズの多様化やモデルサイクルの短縮等により、設計から製品化までのプロセスに要する時間の短縮化が重要な課題となっている。製品の形状や機構の評価にはクレイモデルやモックアップが用いられていたが、これらの製作にはその技術を持った人材や長い時間が必要であり、またコストも高いため、1980年代からの3DCADの普及に伴ってその3Dデータを用いたCAEが用いられるようになっていった。

しかし、現在においても製品の見た目や人間が触った時の感覚など、定量化が難しい項目はCAE上で完結させることが難しい。そのため、部品の性能ではなく感覚的な項目を評価するために、製品形状の試作品を製作する必要性が現在も存在する。その需要に対するラピッドプロトタイピング(RP: Rapid Prototyping)の方法として3Dプリンターと呼ばれる付加造形法の研究が1970年代から始まり、1990年代から本格的な需要が生まれ始めた。

現在、3Dプリンティングが、新たなものづくりの方法として注目されている。3Dプリンティングという技術自体は新しいものではないが、近年の基本技術の特許切れによって安価な3Dプリンターが登場した。個人や企業が新たに参入した結果3Dプリンター関連の市場規模が急激に拡大し、3Dプリンターは急速に身近なものになりつつある。注目されている理由を挙げると、3Dプリンターは複雑な形状であっても1工程で造形でき、造形の自由度も非常に高い。そのため製品の製造に複数種類の加工機を用いる必要がなく、様々な加工機に対する知識も必要ない。それらの理由から個人での小ロットの製品生産や趣味での造形などの用途にも普及が期待できる、等がある。また企業では、3Dデータと造形機があればどこでも立体を出力して検討でき、必要に応じてジグなども造形できる。

ラピッドプロトタイピングの造形方法を用いて小ロットの製品を生産するラピッドマニュファクチャリング(RM: Rapid Manufacturing)という方法も登場した。現在では、金属3Dプリンターを用いて生産終了後の自動車の部品や、ジェットエンジンの部品など多品種少量生産が必要な部品の生産を行っている例も存在する。

3Dプリンティングには数多くの利点が存在するが、その造形法に起因する欠点も存在する。選択的レーザー焼結法(SLS: Selective Laser Sintering)による造形では他の製造方法とほぼ同等の強度の製品を生産することができる。しかし樹脂の場合、付加造形法による造形品は層間の強度が低いことや専用樹脂の低靱性から、通常の射出成型品と同等の強度を実現することは難しい。現在生産されている樹脂製品には、電子機器の筐体やカバー類等の薄板シェル形状部品が多く含ま

れるが、薄板シェル形状の場合にはサポート材の配置等の問題もあり、RMによる樹脂製品生産では用途が限られる。

3Dプリンターはシェル形状樹脂部材の成形品の強度に問題がある。樹脂の造型に逐次成形を適用した場合、予め板状に成形した材料を用いるため高強度の成形品が期待でき、上記の特徴を持つため樹脂用3Dプリンターの弱点を補うことが出来ると考えられる。

2. 研究の目的

逐次成形を樹脂の成形に適用する場合、樹脂は金属板のような衝撃による塑性変形を起こさないため、静的な加工が適用される。本研究では、加熱により熱可塑性樹脂を軟化させ位置制御により加工を行う。また、軟化した樹脂は僅かな引張強度しか持たないため、金属板の逐次成形のように工具を材料に接触させたままの連続的な成形では、工具が樹脂を引きずることによる破れの発生が予想される。そのため、本研究では図1に示すように、各加工点を逐次的に押下していく離散的変形による成形を行う。

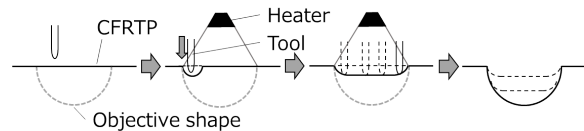


図1. 逐次成形方法

この成形方法により樹脂を成形する場合、温度制御の観点から軟化中に材料自体の形状を維持できる程度の強度を保つ温度域が広いことが望ましい。本研究では、短繊維CFRTPのCADデータを基づく任意の薄板形状が成形可能な3次元逐次成形技術の開発を目的とし、成形に必要な知見を得るための予備実験と基礎的な成形実験を行う。

3. 研究の方法

CFRTPを加工する現在主流の方法であるプレス成形において金型は必要不可欠であるが、多品種少量生産をするには、金型を製造することはコストの面から現実的ではない。逐次成形は金属材料を金型無しで加工する方法の一つとして知られている。現在、逐次成形技術はCFRTPの加工方法としては適用されていない。

逐次成形をCFRTPに適用するためには、CFRTPは常温で加工することが出来ないため、加工中の加熱が必要となる。しかし、CFRTPは加熱によって酸化・熱分解などの劣化をする恐れがある。

逐次成形技術を適用する際、その長い加工時間と加熱温度において熱劣化や酸化がCFRTPにどのような影響を及ぼすかは明らかになっていない。

本研究の目的は、逐次成形技術をCFRTPに適用するための最適条件を調査することである。

本研究では、通常の引張試験と空气中、窒素雰囲気中で加熱したものの引張試験を比

較した。引張試験片には 2013 年度版 JIS 規格 K7162 より引張試験片 1BA 形を採用して作成した。

引張試験機には, SHIMADZU の卓上形精密万能試験機 AGS-10KNX を用いた。引張試験前には 150 で 24 時間乾燥させた。加熱するものについては、図 2 のような装置を用いて乾燥前に 200 程度 30 分間の加熱を行った。

引張強度は加熱したもののほうが高くなる傾向にあるが、これは試験片ごとのバラつきなども考慮すると、サンプル数を増やし検討する必要がある。しかし、図 3 のグラフに示すように、応力の変化は約 6%と低く、熱による劣化や酸化の影響はみられなかった

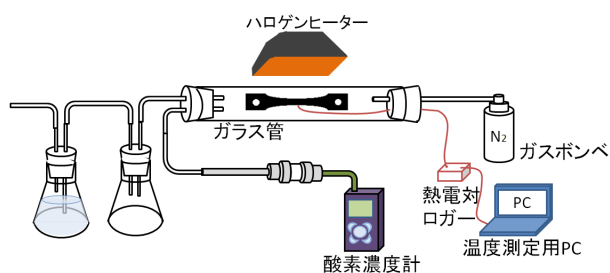


図 2 . 窒素雰囲気中加熱実験概要

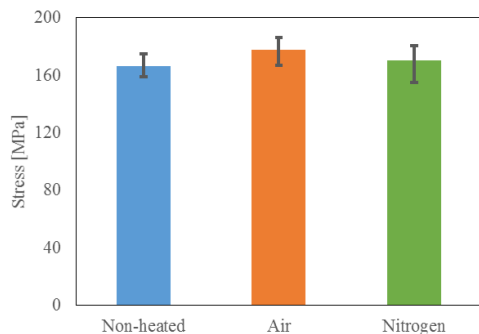


図 3 . 加熱後の CFRTTP 機械的特性

- ・引張試験結果について、試験片ごとのバラつきなども考慮すると今回の実験条件である 200 , 30 分間の加熱では熱による強度の劣化は確認されない。

- ・強度の劣化は見受けられなかったが、表面の劣化は顕著であり、空気中での加熱よりも窒素雰囲気中での加熱は劣化の程度は小さく、表面の劣化を抑える目的では窒素雰囲気は有効である。

- ・加熱の程度が異なる境界部分では劣化が最も激しいため、均一な加熱をすることが重要である。

- ・これらのことから、強度における劣化は確認されず、表面の劣化も大きな影響を考えにくい

ため、逐次成形における加熱条件下では雰囲気から酸素を排する必要はない。

4 . 研究成果

(1)実験装置の構成

材料の加熱は 1kW の近赤外線ヒータ 2 台による全体加熱によって行った。成形時のハン

マの工具経路は、金沢大学の浅川らによって開発されているオープンソース CAM カーネルである Kodatuno (Kodatuno is Open Developed Alternative Trajectory Utility Object) のライブラリを用いて先行研究で開発された、鍛金用 CAM を用いて生成する。ハンマはそれに倣って動作する。

(2)基礎実験条件

表 1 に実験条件を示す。加熱時の目標温度は予備実験によって求められた。成形部分以外はアルミニウム箔によって遮光した。

表 1 . 基礎実験条件

Objective shape	R20 Partial spherical shape
Tool path	Inward(1426 points)
Target temperature	210

(3)実験結果

図 4 に成形結果と成形時の熱画像を示す。成形時に目標温度近傍の温度を維持した部分は問題なく成形されているが、成形時の温度の偏りによって過熱した部分では垂れ下がりや破れが発生した。

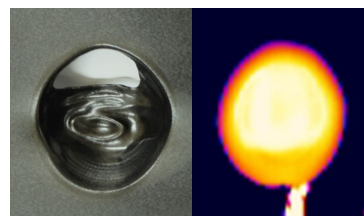


図 4 . 加熱時の温度分布

(4)局所加熱を用いた成形実験

加工部の材料の温度を加工温度内に保つよう制御するため、図 5 に示すスポットヒータを用いて局所加熱を行い、IR カメラによる温度計測を用いて PID 制御による温度制御を行った。

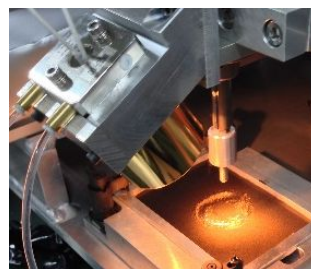


図 5 , 実験装置

表 2 . 実験条件

Objective shape	R20 Partial spherical shape
Tool path	Inward(surface:171 points) outward(body:342 points) scan(322 points)
Target temperature	210

表2に実験条件を示し、図6に成形品とその成形中の熱画像を示す。inwardのsurfaceモードで行った成形結果では、成形途中で中央部分が大きく盛り上がり、最終的に破れが発生した。これは、円周部分の樹脂が中央部分に向かって移動した結果であると考えられる。outwardのbodyモードでの加工では、中央部分は樹脂が盛り上がることはなかったが、垂れ下がりが発生した。

熱画像が示すように現在の加工点ではなく、数個前の加工点が最も温度が高いことが分かる。これは、赤外線は集光径の外の光が、昇温時の照射時に加工後で既に加工温度に達していた点を加熱するためであると考えられる。また、surfaceモードやbodyモードでは、材料の中央付近に加工点が存在する時間が長いため、温度が下がりにくくなっている。材料中央と加熱部の距離が常に大きく変化するscanモードでの加工も行った。しかし、成形結果をみるとbodyモードでの成形においても垂れ下がりや破れが同様に発生した。

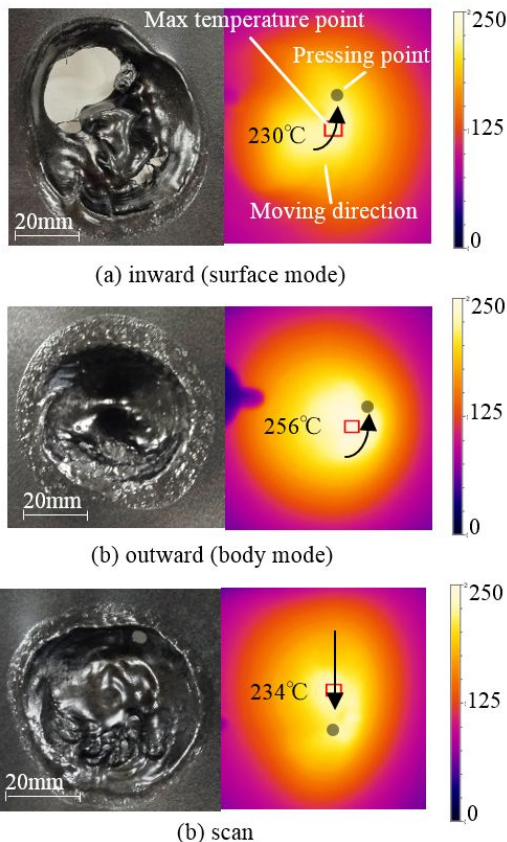


図6．成形結果と成形中の温度分布

(5)連続繊維 CFRTP

連続繊維 CFRP 積層板に対して層間のずれを伴う変形が可能であることを確認するために、試験片全体を加熱した状態で実験を行った。使用した試験片の条件を表2に示す。曲げ試験時と同様の試験片を使用し、全体を280℃まで加熱した。変形させた際の画像を図7に示す。図に示すように曲面形状へと変形が可能であり、積層がずれて変形している

様子が確認された。

表3．連続繊維 CFRP 曲げ試験条件

Fabric	Twill 2/2
Yarn	3k tex
Polymer	PA66
Fibre content	45 % vol
Thickness per layer	0.25 mm
The number of layers	8
Glass transition temperature	70
Melting temperature	260



図6．連続繊維 CFRP 曲げ試験結果

本研究によって得られた知見を以下にまとめる。

- ・CFRTPの逐次成形を行う上で重要な知見を得るための基礎実験が行われた。
- ・フィードバック制御による局所的な温度制御が可能な逐次成形装置を開発した。
- ・局所加熱の適用により、加工中の材料の垂れ下がりや破れが抑制できた。
- ・加工点ごとの冷却を適用した局所加熱を適用した成形では、成形品質を高めることができる可能性があるが、膨大な時間が必要である。

5．主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

1. T. Ikari, H. Tanaka, N. Asakawa, "Development of a Novel Shell Shaping Method with CFRTP: Forming Experiment Using Localized Heating in Processing Point", Materials Science Forum, Vol. 874 (2016), pp. 40-45, 査読有り

〔学会発表〕(計 2 件)

1. 猪狩龍樹, 柳和久, 田中秀岳, 浅川直紀, "熱可塑性 CFRP の任意形状の薄板成形を可能とする新規逐次3次元成形技術の開発", 2016年度精密工学会春期学術講演会, B66, 東京理科大学(千葉県・野田市), 査読無し
2. Tatsuki Ikari and Hidetake TANAKA, "Development of Incremental Forming Method for CFRTP: Forming Experiment Using a Master Models", 19th International

Conference on Mechatronics
Technology, 2015, 東京工業大学(東京
都・目黒区), 査読有り

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 秀岳 (TANAKA, Hidetake)
上智大学・理工学部・准教授
研究者番号：10422651

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

()