

令和元年6月17日現在

機関番号：12401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K17995

研究課題名（和文）溶融金属積層と切削加工の複合加工を可能にするCAMおよび工程設計システムの開発

研究課題名（英文）Development of the CAM and CAPP system for additive manufacturing process and machining

研究代表者

阿部 壮志（ABE, Takeyuki）

埼玉大学・理工学研究科・助教

研究者番号：60756469

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、大型機械部品や金型を迅速に造形可能なアーク放電・ワイヤ材料方式の積層技術である溶融金属積層法と切削加工を効果的に組み合わせた、積層造形・切削加工の複合加工を可能にするCAMおよび工程設計システムの開発を目的としている。高精度に造形するための最適な積層経路や積層条件を明らかにし、CAMへ実装した。材料消費量や加工時間の観点から、素材形状、切削による除去領域と積層による付加領域の決定を支援するソフトウェアを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

大型製品を高効率に造形するための積層条件や積層経路についての知見を明らかにした。また、本手法は様々な形状に直接金属材料を付加することができるが、その際の積層で付加する領域と切削により除去する領域を決定するための具体的な指針を示した。

研究成果の概要（英文）：In this study, CAM and CAPP system for hybrid process, which includes additive manufacturing and finishing by machining, were developed. Optimal torch moving path and process conditions to build target shape with high accuracy were revealed. The software that supports the determination of the material geometry, the removal area by machining and the additional area by additive manufacturing from the viewpoint of material consumption and processing time, was developed.

研究分野：生産工学

キーワード：アディティブ・マニュファクチャリング アーク放電 アーク溶接 CAM CAPP

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年では CAD データから迅速に機械部品や金型を直接造形する積層造形 (Additive Manufacturing) 技術への期待が高まっている。研究代表者はこれまで、積層造形技術の一種であり、アーク放電とワイヤ材料を用いた指向性エネルギー堆積法に分類される、「アーク放電を用いた熔融金属積層」(図1) に関して様々な研究を行っている。特に、鋼やチタン合金、ニッケル基耐熱合金など多種の金属材料による積層造形物の引張強度などの機械的特性の調査や、積層造形物内の残留応力と仕上げ加工後の精度に関する研究、中空形状を高精度に造形するための積層条件および積層パス算出方法の開発など、基礎的内容から実用化に向けた内容まで幅広く取り組んでいる。

アーク放電を用いた熔融金属積層は大型造形に適した積層造形技術である。加えて、基板上だけでなく、丸棒やブロック材、自由曲面上など様々な形状に部分的に材料を付加することが可能である。本手法と切削加工などの除去加工を効果的に組み合わせることで、従来は削り出しで作られる航空機部品などの大型製品の生産効率の向上および材料コストの削減が期待される。しかし、積層造形と切削加工をどのように組み合わせると、大型製品が効率的に加工できるかという、明確な指標は示されていない。

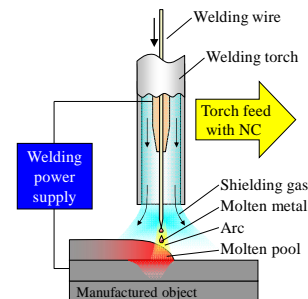


図1 積層原理

2. 研究の目的

本研究では、目標形状の一部をアーク放電を用いた熔融金属積層で造形するための、工程設計方法の開発、および積層パスを算出する CAM の開発を行う。これにより最終的には、目標形状の CAD データから、最適な積層造形と切削加工の組み合わせによる複合加工システムの構築を目的とする。

3. 研究の方法

ワイヤ+アーク放電による AM では MIG/MAG 溶接システムを応用している。図1に示すようにトーチ先端の溶接金属と母材間でアークを発生させ、そのエネルギーで溶融した溶接金属をサブストレート上に滴下しながら、トーチを移動させることで層を形成する。この操作を、各層終了ごとに積層方向へトーチを移動させながら繰り返す。本実験では溶接トーチの制御に FANUC 社製ロボット ARC Mate 100iC を用いた。溶接電源は LINCOLN ELECTRIC 社製 POWER WAVE R350 を用いている (図2)。



図2 造形装置

4. 研究成果

(1) 中実形状造形 CAM の開発

中実形状を造形する際には、目標形状を等高線状に分割し、取得した輪郭データを塗りつぶすように材料を堆積させる。このとき、積層経路によって造形物の形状は異なり、形状精度に影響を与える。そこで、図3に示すように、積層経路のパターンを変えて中実形状を造形し、造形物の形状を評価した。その結果、パターン2と3ではビードが積層停止位置付近で高さが低くなることによる形状の不均一さが累積されて形状誤差が大きくなることが明らかになった。一方、パターン1と4では図4のように安定した形状を保って造形可能であった。また、ビードの積層停止位置付近で高さ低下を補正するために、積層停止位置で再度積層を実施した。その際の造形条件の検討を行った。その結果 200A, 20.5V, 1.0s で積層を行うと、積層高さの均一化への効果が高く、約 60% の改善が見られた。本造形方法は切削による仕上げ加工を前提としているため、造形物が目標とする形状を包含している必要がある。積層経路と造形物形状の関係を評価し、目標形状が包含するように積層経路を補正するプログラムを開発し、CAM に実装した。

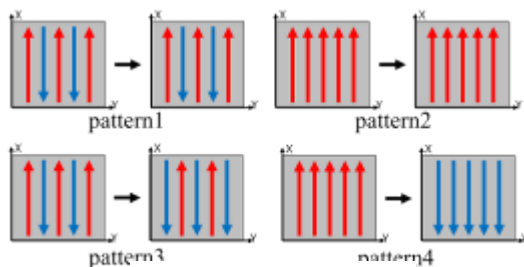


図3 造形パターン

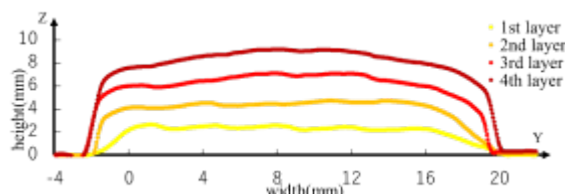


図4 造形物形状

(2)ラティス構造造形 CAM の開発

約 1 秒間の短時間の積層と数 10 秒の待機(積層停止)を繰り返すことで鉛直方向や傾斜角度を有する柱形状の造形が可能である。柱形状造形時の造形パラメータが造形物形状に与える影響を調査した。図 5 に示すように、積層時の放電時間を変化させたときの 1 層あたりの積層高さおよび幅の変化量が大きく、造形物形状を効果的に制御できることを明らかにした。積層停止時間については、停止時間が長いほど、積層間の造形物温度が低下することにより造形物の 1 層あたりの積層高さは高くなり、幅は低くなった。しかし、45 秒以上停止するとその変化はほとんど見られず、安定した積層が可能であることが分かった。

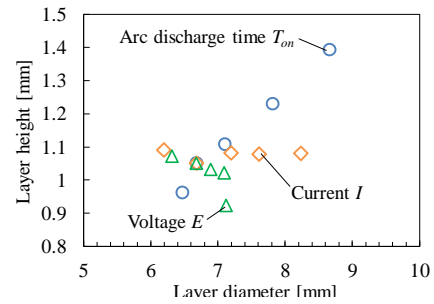


図 5 造形パラメータと造形物形状

柱形状を組み合わせてラティス構造を造形するための CAM を開発した。図 6 に示すように、ラティス構造で置き換えたい CAD 形状およびラティス構造のパラメータを入力すると、該当部分を造形するための積層経路を算出し、造形形状のシミュレーションデータが出力される。開発した CAM を用いて造形実験を行い、ラティス構造が造形可能なことが示された(図 7)。

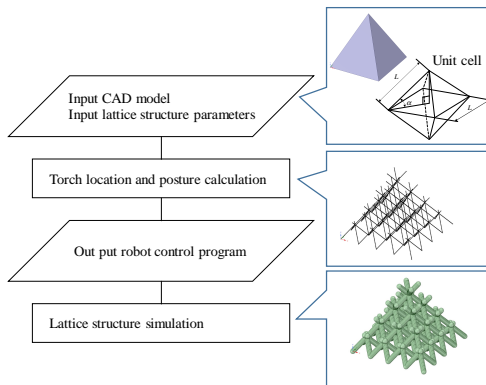


図 6 CAM システム



図 7 ラティス構造

(3)積層 + 切削複合加工工程設計システムの開発

指向性エネルギー堆積型 AM 方式では、母材の形状を問わず局所的に材料を付加することができ、切削との適切な組み合わせにより、造形時間および、材料消費量の低減が可能である。そのため、造形時間および材料消費量の観点から切削と積層による工程設計を支援するシステムを開発した。本システムでは、図 8 に示すように目標とする CAD データおよび、積層、切削加工条件を入力すると、様々な母材形状を用いた場合の積層により造形する領域と切削により除去する領域が算出される。この結果をもとに造形時間および材料消費量を予測し、結果を可視化する。本システムを用いてケーススタディを実施した。工程設計システムを利用して推定した材料消費量および加工時間と、実加工により消費した材料およびかかった時間を測定して、推定精度を検証した。推定精度への影響が大きい因子としては、造形中の冷却時間が支配的であることが明らかになった。

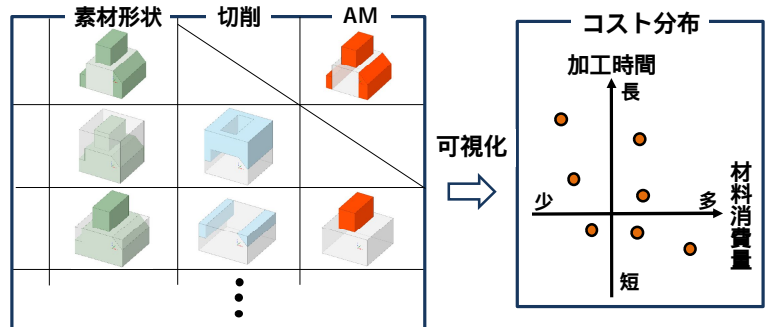


図 8 工程設計システム

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 0 件)

[学会発表](計 4 件)

阿部壮志, 金子順一, 堀尾健一郎, 笹原弘之, ワイヤ+アーク放電によるアディティブ・マニファクチャリングにおける造形物温度予測に基づく溶着金属形状制御, 2018 年度精密工学会秋季大会学術講演会, 2018

Takeyuki Abe, Hiroyuki Sasahara, Fabrication of Lattice Structures by Wire and Arc-based Additive Manufacturing, the 18th euspen International Conference & Exhibition, 2018

Takeyuki Abe, Hiroyuki Sasahara, Development of the shell structure building simulator with two-dimensional bead model for wire and arc-based additive manufacturing, The 9th International Conference on Leading Edge Manufacturing in 21st Century, 2017

阿部壮志, 笹原弘之, ワイヤ+アーク放電によるアディティブ・マニファクチャリングのための造形形状シミュレータの開発 ビード形状の2次元モデルによるシェル形状造形物の推定, 2016年度精密工学会秋季大会学術講演会, 2016

〔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：
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：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

<http://kousaku.mech.saitama-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号(8桁)：

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：笹原 弘之

ローマ字氏名：SASAHARA, Hiroyuki

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。