

令和元年6月18日現在

機関番号：12101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06001

研究課題名(和文) 静水圧付与治具およびハイブリッド送り機構具備CFRP加工機とプロセスの開発

研究課題名(英文) Development of CFRP processing machine and drilling process with hydrostatic pressure application jig and hybrid feed mechanism

研究代表者

尾島 裕隆(Ojima, Hirotaka)

茨城大学・理工学研究科(工学野)・准教授

研究者番号：90375361

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、CFRPの孔加工におけるバリやデラミネーションなどの問題点を解決する加工機の開発をめざし、次のような結果を得た。従来の工具ではなく、研削砥石を用いた加工でのバリの低減を試みた。また、静水圧付与可能な加工物固定治具を開発し、全ての加工実験において用いた。CFRP加工機の工具軸に対して、定圧・定送りを両立したハイブリッド送り機構を実装した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発したCFRP加工機および加工プロセスは、CFRP孔加工において、精度の良い加工を実現する一方法として有用であると考えられる。従来の加工プロセスと異なる、工具の選定、固定治具の設計、加工機の送り機構の設計において、本手法が新たな加工方法の一助となることが期待できる。

研究成果の概要(英文)：In this study, we aim to development the CFRP processing machine to solve the problems which CFRP drilling process counter as burrs, delamination and short tool life. In order to reduce burrs in processing, grinding wheel are used instead of the conventional drilling tool. The workpiece fixture jig that can apply hydrostatic pressure is developed, and used in all processing experiments. A hybrid feed mechanism compatible with constant pressure and constant feed was mounted on the tool axis of a CFRP processing machine.

研究分野：生産工学, 画像処理

キーワード：CFRP 定圧制御 定送り制御

## 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、CFRP (炭素繊維強化プラスチック) は航空機産業で普及しており、機体材料として使用されている。CFRP の加工では、主にドリルによる切削穴あけ加工が行なわれているが、加工によるバリの発生や CFRP の層間剥離 (デラミネーション) が起き易く、また工具そのものの損耗も激しいという問題がある。そのような CFRP の穴あけ加工には、新たな加工工具・加工方法を開発する必要がある。

### 2. 研究の目的

本研究の内容は、CFRP の加工におけるバリやデラミネーションなどの問題点を解決する加工機の開発である。1. 研削砥石を利用し、超音波振動援用研削を行なう、2. 静水圧を利用したバリ抑制治具の開発、3. 定圧・定おくり制御機構を持つ加工装置の開発、という3つの特徴を持つ新たな穴あけ加工システムの設計・開発を行なっていく。

### 3. 研究の方法

研究目的の3つの特徴に対して、下記のように研究を行う。

#### (1) 研削軸砥石および超音波振動援用工具の設計

加工工具として、従来の CFRP 加工に用いられた超硬カッターではなく、研削用軸砥石を用いる。研削用軸砥石の初期仕様を検討し、砥粒の種類・粒度や砥石先端形状を考慮したものを複数購入する。さらに、超音波振動を付加するために、Z 軸ステージに超音波振動装置を取り付ける。

#### (2) 静水圧を利用した工作物固定治具の設計・開発

圧縮静水圧を加工点付近に作用させることによる、工作物固定用治具を設計し、開発する。特に、これまでの共同研究者との成果を参考に、CFRP 加工に合わせた治具の設計を行い、固定治具を開発する。CFRP の上下方向および左右方向の2軸方向での圧力をかけることができ、その大きさも調整可能となっている。

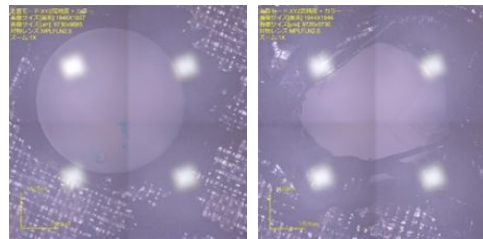
#### (3) 定圧・定送り用ハイブリッド送り機構の設計・開発

オブザーバを利用した力計測法を用いた研削圧制御および送り位置制御を行なうハイブリッド送り機構を構築する。本研究では、単一軸上での定圧制御のみならず Z 軸ステージの位置制御による定送りを実現する。

### 4. 研究成果

#### (1) 研削軸砥石および超音波振動援用工具の設計

初めに、従来工具である超硬カッターと研削用軸砥石を用いた加工による比較を行った。図 1 に孔加工の結果を示す。図 1(a)の超硬カッターによる結果に比べ、同図(b)の軸砥石による結果の方が、バリの発生が酷く、劣る結果となってしまった。図 2 に示す



(a) 超硬カッター (b) 軸砥石  
図 1 加工孔外観



図 2 軸砥石加工によるバリ

ように非常に多くのバリを発生してしまっているが、その原因として CFRP の樹脂が溶けて癒着し、それにより切れ味の劣化および工具表面積が増えることで摩擦が増え、穴内部の樹脂をさらに溶かしてしまい炭素繊維を上手く切断できなかったためと考える。

超音波発生装置による工具への超音波付加を用いた加工は、超音波発生装置の購入は行ったが、下記成果の(3)における工具軸のハイブリッド送り機構の開発に手間取り、超音波付加加工は実施できなかった。この超音波付加加工は今後の課題である。

#### (2) 静水圧を利用した工作物固定治具の設計・開発

図 3 に示すような治具を設計し、図 4 のように固定治具を作成した。図 4 は上下方向の圧力を付与するふたを外した状態の外観である。また、図 4 中の台形の補助治具板により、水平方向 (左右方向) の圧力を調整することが出来る。全ての加工実験において、この開発治具を用い加工を行った。

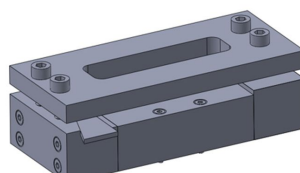


図 3 設計治具

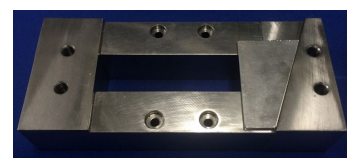


図 4 開発治具外観

### (3) 定圧・定送り用ハイブリッド送り機構の設計・開発

本研究では、CFRP を加工する図 5 に示すような加工機を開発した。この加工機上に、定圧・定送りのハイブリッド送り機構の開発のために、外乱オブザーバを用いたセンサレスの定圧制御の実装を行った。開発した加工機の精度検証の結果を図 6, 7 に示す。図 6 より定送りの精度検証の結果として、制御対象である平均ステージ速度は、ステージ送り指令速度に対して傾き 1 の比例関係となっており、精度良く制御できた。次に図 7 より、定圧制御の精度検証の結果として、目標値が 150N ~ 700N の時、制御対象であるスラスト力とオブザーバによる推定スラスト力は、目標値に対して傾き 0.7 程度の比例関係となってしまう、スラスト力に至っては目標値に対して一律 150N ほど少ない結果となってしまう、不十分な精度となった。

この結果に対し、特に定圧制御が未完成となってしまったため、今後の課題である。

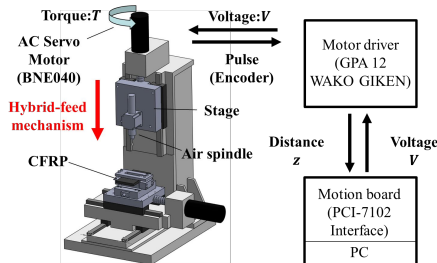


図 5 開発 CFRP 加工機

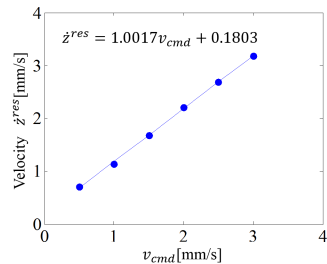


図 6 定送り精度検証

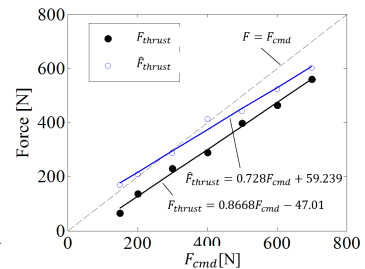


図 7 定圧精度検証

## 5 . 主な発表論文等

[学会発表] (計 6 件)

尾島裕隆, 青柳晃汰, 宇野倫和, 周立波, 清水 淳, 小貫哲平: CFRP 穴あけ加工機および加工プロセスの開発, 2018 年度精密工学会秋季大会学術講演会, 函館アリーナ (函館市, 北海道), 2018

青柳晃太, 竹之内大輔, 尾島裕隆, 周立波, 清水 淳, 小貫哲平: CFRP 穴開け加工機および加工プロセスの開発, 第 19 回高エネ研メカ・ワークショップ, 高エネルギー加速器研究機構(KEK) 3 号館 1 階 セミナーホール (つくば市, 茨城県), 2018

Daisuke Takenouchi, Hiroataka Ojima, Teppei Onuki, Jun Shimizu: The development of hybrid-feed system and technology of CFRP machining, The 9th International Conference on Leading Edge Manufacturing in 21st Century (LEM21), International Conference Center Hiroshima in Peace Memorial Park (Hiroshima-city, JAPAN), 2017

尾島裕隆, 竹之内大輔, 青柳晃汰, 周立波, 清水 淳, 小貫哲平: ハイブリッド送り機構を用いた CFRP 研削加工機の開発, 2017 年度精密工学会秋季大会学術講演会, 大阪大学豊中キャンパス (豊中市, 大阪府), 2017

會田和樹, 竹之内大輔, 尾島裕隆, 周立波, 清水 淳, 小貫哲平, 山本武幸: ハイブリッド送り機構を用いた CFRP 加工技術の開発, 2016 年度精密工学会秋季大会学術講演会, 茨城大学 水戸キャンパス (水戸市, 茨城県), 2016

會田和樹, 竹之内大輔, 尾島裕隆, 周立波, 清水 淳, 小貫哲平: CFRP の穴あけ加工技術の開発, 第 17 回高エネ研メカ・ワークショップ, 高エネルギー加速器研究機構(KEK) 3 号館 1 階 セミナーホール (つくば市, 茨城県), 2016

[その他]

ホームページ: <https://sites.google.com/site/nlabibarakiuniv/>

## 6 . 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名: 清水 淳

ローマ字氏名: (SHIMIZU, Jun)

所属研究機関名: 茨城大学

部局名: 理工学研究科

職名: 教授

研究者番号 (8 桁): 40292479

研究分担者氏名：周 立波  
ローマ字氏名：(ZHOU, Libo)  
所属研究機関名：茨城大学  
部局名：理工学研究科  
職名：教授  
研究者番号(8桁)：90235705

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。