

令和 4 年 5 月 23 日現在

機関番号：12103

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K03833

研究課題名(和文) CFRPの深穴微細加工技術および評価法の確立

研究課題名(英文) Establish of machining method and evaluation technique of carbon fiber reinforced plastic

研究代表者

明松 圭昭 (Akematsu, Yoshiaki)

筑波技術大学・産業技術学部・准教授

研究者番号：20396766

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：CFRPは現在、最も注目されている材料の一つである。高強度、高剛性、耐食性に優れる、など、従来の材料にはない優れた特性を有するため、様々な分野で適用が進んでいる。しかし、高強度であるため加工特に深穴微細加工は困難である。本研究では特殊な放電回路を製作することで導電性を保持したまま微細加工を可能にした。また従来の手法ではできなかった特殊な表面性状の発現に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により従来、加工が困難とされているCFRPの微細加工が可能になった。また加工条件の制約は受けるが、理論値を超える高密度な炭素繊維を有する加工面の発現が可能になった。この発現現象は解明されておらず、今後の学術的課題となる。高密度な炭素繊維面が創成できると新しい材料特性の発現が期待できる。

研究成果の概要(英文)：Recently, carbon fiber reinforced plastics (CFRP) have been widely used in various fields such as aircraft, cars, sporting goods, and so on. CFRPs have good characteristics such as light weight, high strength and rigidly. However, CFRP material was difficult to machine, especially machining of deep hole was difficult. In this study, it was establish to machining method and evaluation technique of CFRP. As the results, new electrical discharge method was developed and can make special surface property for CFRP material.

研究分野：材料加工法の開発および評価

キーワード：炭素繊維強化プラスチック 放電加工

### 1. 研究開始当初の背景

CFRP は現在、最も注目されている材料の一つである。高強度、高剛性、耐食性に優れる、など、従来の材料にはない優れた特性を有するため、様々な分野で適用が進んでいる。成型後、熱硬化性 CFRP の加工は機械加工されることが多いが、深穴微細加工は困難である。そこで注目されているのが高エネルギー加工技術である。中でも CFRP が低導電性の材料（導体である炭素繊維および不導体である樹脂から構成）である特性を利用した放電加工技術の適応がはかられている。しかし CFRP は導体および不導体の積層で構成されるコンデンサ特性を有する高抵抗材でもあるため、安定した放電加工が困難で、加工時に熱影響が出やすく加工後、強度低下等の問題が発生することがある。これらの問題を解決するためには安定した加工が行えるように極間の電気抵抗を常に低く保ち、さらに加工部以外での熱の発生を抑える必要がある。そこで加工前の CFRP 材表面に導電導入材を付着させ放電加工することで、加工表面に電気抵抗の低い導電性被膜を形成しながら加工する「補助電極法」が適応できないかと考えた。本手法は、加工開始時には導電導入材が極間の電気抵抗を低くする役割をし、加工が進行した際には導電性被膜（母材と導電導入材により形成される）を形成することで極間の電気抵抗を低く保つことが可能な手法である。ただし、導電性被膜を形成し続けるためには放電パルスを制御する必要がある。「放電パルス制御」を行うことで、市販の放電加工機では困難な導電性被膜を形成しながら加工部以外での発熱を抑えた熱影響の少ない放電加工が可能になると考えた。さらに形成した導電性被膜に単発放電を行い放電条件が CFRP におよぼす熱の影響を明らかにすることで、熱影響の少ない安定した放電加工およびその評価技術の確立を目指した。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、「補助電極法」および「放電パルス制御」を用いた放電加工により熱硬化性炭素繊維強化プラスチック (CFRP) 材に高アスペクト比の深穴微細加工を行うことである。さらに形成した導電性被膜に単発放電を行い放電条件が CFRP におよぼす熱の影響を明らかにすることで、熱影響の少ない安定した放電加工およびその評価技術の確立を目指した。

### 3. 研究の方法

本研究の特色は CFRP 材表面に導電性被膜を形成しながら放電加工を進めることで、放電による発熱を抑制し熱影響の少ない安定した放電加工およびその評価技術の確立を目指すことである。そのために熱硬化 CFRP 材の電気抵抗を高くするために、表面処理を行った。また熱影響を少なくするために、市販の放電加工機では設定できないパラメータを独自開発した放電回路（「放電パルス制御」）を用い制御した。熱硬化性 CFRP 材で導電性を保持したまま熱影響の少ない放電加工を行うために使用した実験装置概略を図 1 に示す。また加工条件は表 1 に示す。

加工条件による比較を行うために市販の汎用機で適用されるトランジスタ制御およびコンデンサ制御回路を製作し行った。加工液には放電加工油 (EDF-K2) を用い、浸漬させながら加工くずの影響を少なくするため循環吹きかけを行った。また、加工物側の給電点は、接触状態のばらつきにより生じる電気抵抗の変化を抑制するため、銅製のフィルム（厚さ 0.1mm）を CFRP と一緒に挟み込んで加工を実施した。

本研究で使用した CFRP は東邦テナックス社製のプリプレグ（130℃硬化型のカーボン 3K プリプレグ）を使用し、GH クラフト社で製造した CFRP を用いた。試験片は厚さ 2mm の擬似等方材で、

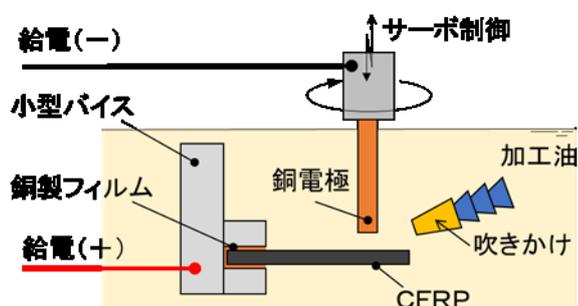


図 1 実験装置概略

表 1 加工条件

	トランジスタ制御	コンデンサ
	放電回路	放電回路
電極直径	3 [mm]	
(材質、電極極性)	(Cu, -)	
電極回転数	2,000 [rpm]	
無負荷電圧	100 [V]	
サーボ基準電圧	60 [V]	
放電持続時間	4 [ $\mu$ s]	-
休止時間	36 [ $\mu$ s]	-
内部抵抗	10 [ $\Omega$ ]	-
充電抵抗	-	2 [k $\Omega$ ]
コンデンサ容量	-	2 [ $\mu$ F]

積層構成は, $[0/45/90/-45]_{2s}$ を用いた。

#### 4. 研究成果

それぞれの加工条件で貫通穴加工を実施し、光学顕微鏡による加工穴の観察を実施した。観察結果を図2に示す。加工時間には大差は生じなかったが、加工穴の表面状態に顕著な差が観察された。本研究で作製したコンデンサ放電回路を用いた場合、入口（試験片上側：銅電極と対向する側）側、出口（試験片下部：銅電極が試験片を貫通する側）側ともに、目立った樹脂の消失および熱影響層は観察されなかった。一方、トランジスタ制御放電回路（市販回路と同等品）を用いた場合、入り口側、出口側ともに加工穴の外周部において、樹脂の消失による炭素繊維の露出および熱影響層が確認された。

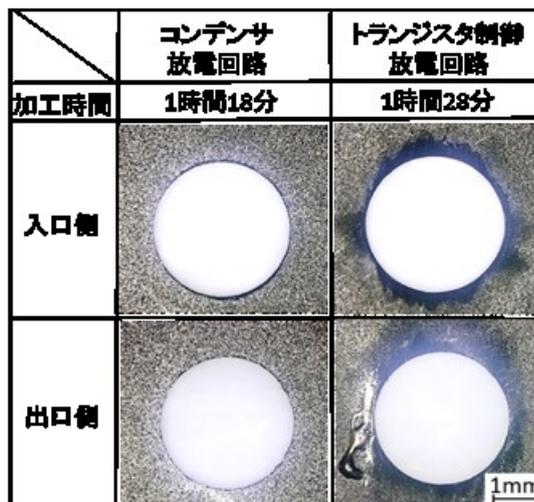


図2 加工痕観察

#### 加工穴側面（加工面）の観察

コンデンサ放電回路を使用して加工した加工穴側面のSEM観察を実施した。観察結果を図3に示す。実験試料はプリプレグを配向方向が変わるように積層して作製された擬似等方材であるため、(a)に示すように加工面にはプリプレグの積層境界が観察された。また、(b)に示すように積層の境界部分を観察すると、炭素繊維が観察され、切削加工で観察されるような層間剥離や炭素繊維のむしれや毛羽立ちは認められなかった。また、(c)に示すように、炭素繊維を輪切りにする方向に加工した配向方向  $90^\circ$  の断面には六角形状の炭素繊維の断面が一面に観察された。使用されている炭素繊維の断面は円形であるため、炭素繊維の断面形状が円形から六角形に変化したと考えられる。

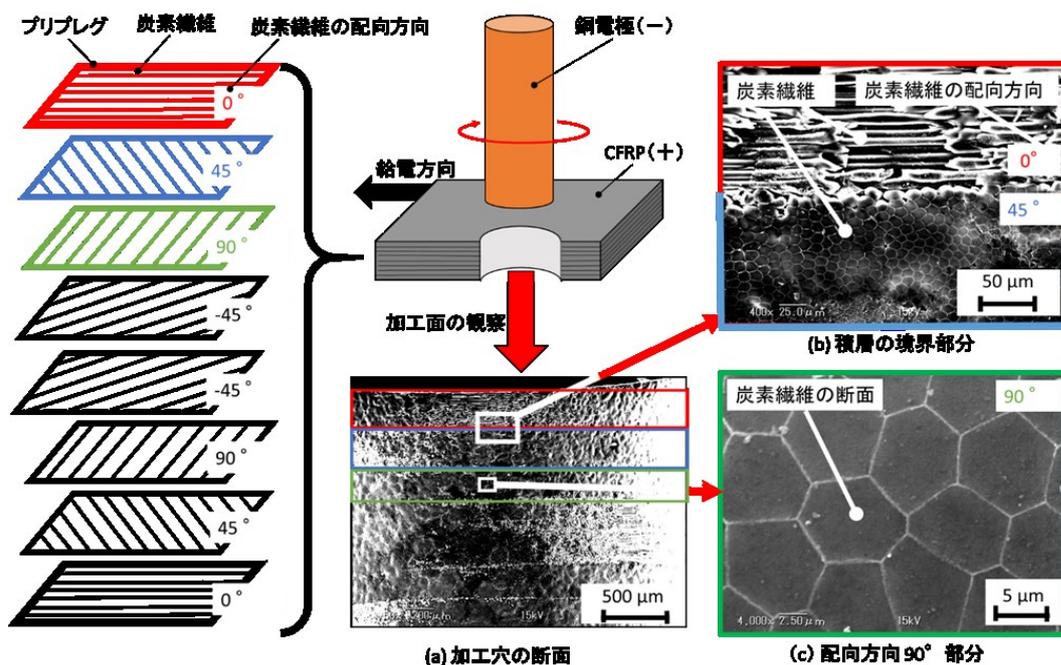


図3 加工穴側面(加工面)のSEM観察

[その他]

ホームページ等

[http://www.tsukuba-tech.ac.jp/department/it/it\\_staffs.html#AKEMATSU\\_YOSHIKI](http://www.tsukuba-tech.ac.jp/department/it/it_staffs.html#AKEMATSU_YOSHIKI)

リサーチマップ

<https://researchmap.jp/read0151983>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Yoshiaki Akematsu, Hiromitsu Gotoh, Takayuki Tani, Hideaki Murayama, Tsuyoshi Matsuo, Kazuro Kageyama	4. 巻 1009
2. 論文標題 Monitoring of the High-Technology Nailing of CFRTP Material under Ultrasonic Vibration by Acoustic Emission Method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materials Science Forum	6. 最初と最後の頁 25-30
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4028/www.scientific.net/MSF.1009.25	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Akematsu Yoshiaki, Tani Takayuki and Gotoh Hiromitsu	4. 巻 853
2. 論文標題 Effect of Stress Fields on Acoustic Emission during Delayed Fracture of Glass	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Key Engineering Materials	6. 最初と最後の頁 157-161
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4028/www.scientific.net/KEM.853.157	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 後藤啓光, 明松圭昭, 谷貴幸, 平尾篤利, 毛利尚武
2. 発表標題 CFRPに対するコンデンサ放電加工の試み
3. 学会等名 2019年度電気加工学会全国大会全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 後藤啓光, 明松圭昭, 谷貴幸, 平尾篤利, 毛利尚武
2. 発表標題 熱可塑性CFRPの加工に関する研究-超音波穿孔加工における部材強度低下-
3. 学会等名 第13回 生産加工・工作機械部門講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 後藤啓光, 谷貴幸, 平尾篤利, 毛利尚武
2. 発表標題 回動ワイヤガイドを用いたワイヤ放電ミーリング加工法の開発 -超硬合金に対する貫通穴加工-
3. 学会等名 2018年度電気加工学会全国大会全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 後藤啓光, 谷貴幸, 平尾篤利, 毛利尚武
2. 発表標題 回動ワイヤガイドを用いたワイヤ放電ミーリング加工法の開発-トランジスタ制御付コンデンサ放電回路の適用-
3. 学会等名 2018年度精密工学会秋季大会学術講演会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 炭素繊維複合材量および積層体の加工法	発明者 後藤啓光, 明松圭昭, 谷貴幸	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-138888	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

#### 6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	後藤 啓光  (Hiromitsu Gotoh)  (90389718)	筑波技術大学・産業技術学部・准教授    (12103)	

#### 7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------