

## 炭素繊維複合材料加工実験（第1報）

Cutting Experiments on Carbon Fiber Composite Materials (1st Report)

## CFRP に対する Cr 系コーティング超硬エンドミルの切削性能

Cutting Performance of Chromium Coated Cemented Carbide Endmills for Carbon Fiber Reinforced Plastic

加藤 明

Akira Kato

機械素材研究所 機械システム科

航空機部品用材料の一つである CFRP の加工には、ダイヤモンドコーティング超硬工具が使用されることが多いが、この工具は高価なため製造原価高騰の要因になっている。そこで、安価な Cr 系コーティング超硬エンドミルによる CFRP 切削実験を行ったところ、ダイヤモンドコーティング超硬エンドミルに比べて経済性に優れることが分かった。

## 1. はじめに

鳥取県では、鳥取県元気づくり総合戦略（平成 27 年制定）などで、航空機、自動車、医療機器等の成長分野に対する支援に取り組んでおり、中京地区や関西地区からこれらの産業分野の企業誘致に繋がっている。特に航空機については、この分野向けの業務を主要とする企業としては県内初の立地であり、今後も航空機関連産業への取り組みが拡大することが予想される。

航空機関連産業で構造材料等として利用されている CFRP（Carbon Fiber Reinforced Plastic：炭素繊維強化プラスチック）のコンポジット材は、生産量が年率 10%程度で拡大を続けている<sup>1)</sup>。CFRP は、一体成型後に切削加工などの 2 次加工が行われるが、工具摩耗が非常に激しいため<sup>2)</sup>、超硬合金の母材にダイヤモンドコーティングを適用した工具の使用が主流である<sup>3)</sup>。しかし、ダイヤモンドコーティング工具は高価であり、加工コスト上昇の要因になっていることや、工具摩耗のメカニズムについて明らかでない点が多く<sup>4)</sup>、加工技術についての検討の蓄積が少ないことが課題である。

そこで、今後県内企業においても取り組みが始まると予想される CFRP 切削加工において、加工技術

情報の蓄積と低コスト加工方法の提案を目指し、ダイヤモンドコーティング超硬エンドミル（以下 DIA エンドミル）と安価な Cr 系コーティング超硬エンドミル（以下 Cr エンドミル）による CFRP 切削実験を行ったので報告する。

## 2. 実験方法

被削材は、熱可塑性 CFRP 板を使用した。従来使用されることが多かった熱硬化性 CFRP に対し、熱可塑性 CFRP は機械特性や成形性に優れる<sup>5)</sup>ことから、今後利用が増加すると予測されている。被削材諸元を表 1 に示す。

実験は NC フライス盤（大鳥機工製 ON-3VII、主軸動力 7.5 kW、最高主軸回転数 3000 min<sup>-1</sup>、主軸端 7/24 テーパー、移動量 X1000×Y400×Z500 mm）を使用した。

切削工具は、DIA エンドミルと、価格が DIA エンドミルの約 1/6 と安価な Cr エンドミルである。工具諸元を表 2、工具外観を図 1 にそれぞれ示す。

切削条件は表 3 のとおりである。一般に CFRP 加工現場では、CFRP の吸水劣化<sup>6)</sup>や切削油の油分残渣による接着強度低下<sup>7)</sup>の可能性があるため、切削油を使用せずに加工が行われることが多い。本実験

においても切削油を使用せずに行った。実験の様子を図2に示す。

工具性能の評価は、切削により拡大する工具逃げ面摩耗幅の大きさとし、表4の条件で摩耗幅を測定した。実験終了条件は、切削距離が8 mに到達した場合とした。

### 3. 実験結果と考察

図3に実験前及び切削距離L=8 m時点の刃の外観写真を示す。この写真は、捻じれた刃が写真上で水平になるようにエンドミルを斜めに配置し、撮影し

表1 CFRP板の諸元

CF目付	200 g/m <sup>2</sup>
熱可塑性マトリックス樹脂	ポリアミド6
積層数	20
厚さ	4 mm
寸法	400×300 mm
CF比率	53 Vol.%
比重	1.5
曲げ強度	750 MPa
曲げ弾性率	53 GPa

表2 工具諸元

工具	DIA エンドミル	Cr エンドミル
母材	超硬	超硬
コーティング膜	超微結晶ダイヤモンド	(Cr,Al,Si)N
硬度	9000 HV	3100HV
摩擦係数	0.15	0.25
酸化開始温度	600 °C	1100 °C
直径	8 mm	8 mm
工具長	60 mm	60 mm
刃長	19 mm	16 mm
刃数	2枚	2枚
ねじれ角	35 °	30 °



図1 工具外観写真

たものである。写真中央付近に帯状に見える部分が刃の逃げ面で、この部分の下側の稜線が刃のエッジとなり、切削加工時に被削材と接触する部分である。図3より、DIA エンドミル、Cr エンドミルとも実験前後の外観に大きな差異は無く、CFRP 切削によるチッピングや異常な工具摩耗などの大きな損傷は見られなかった。この結果より、DIA エンドミル、Cr エンドミルによる CFRP 加工は可能であると考ええる。

図4に、DIA エンドミルの実験前及び切削距離 L = 0.4、0.8、2、4、8 m 時点の刃の逃げ面写真を示す。この写真は、下側の稜線が刃のエッジで、下の稜線から上の稜線までが刃の逃げ面である。この図より、DIA エンドミルは L=4 m までほとんど変化がなく、摩耗が進んでいないことが分かる。その後、L=8 m において、切れ刃稜線の逃げ面側にやや黒く見える部分が確認できる。この部分は、刃のエッジが CFRP

表3 切削条件

切削方法	エンドミル側面切削
切削速度	75 m/min
切込み	径方向 0.4 mm
送り	0.04 mm/tooth
方向	ダウンカット
被削材配置	材料400×4 mmの面を切削面とし、材料長手方向を工具径方向に配置
工具突出し	コレット端面から 30 mm
切削位置	工具先端から 2 mm を被削材底面

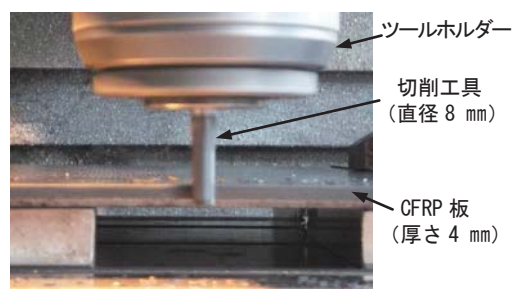


図2 CFRP加工実験の様子

表4 工具摩耗測定条件

測定器	マイクロスコープ(ハイロックス製 KH8700)
測定項目	逃げ面摩耗幅(2枚刃の平均値)
測定位置	工具先端から 4 mm 付近
測定時期	切削距離 0.4, 0.8, 1.2, 1.6, 2, 4, 6, 8 m

によって擦られたために生じた摩耗痕と考えられる。

同様に、図5にCrエンドミルの逃げ面写真を示す。L=0.4 mを見ると、刃の稜線近辺が白く光っている。これは、コーティング膜の表面がCFRPにより研磨され光沢が生じたと考えられる。DIAエンドミルの刃では、このような現象は観察されなかった。DIAエンドミルの硬度は表2のとおり9000 HVと高く、コーティング膜に対するCFRPによる研磨作用の影響が極めて少なかったためと推測する。また、CrエンドミルはL=0.8 mで明らかな摩耗が確認でき、その後切削距離が延びるのに伴い摩耗幅も増大しているが、表2のとおりCrエンドミルの硬度は3100 HVでDIAエンドミルの1/3程度のため、DIAエンドミルに比べ大きく摩耗が進んだと考えられる。しかし、

L=8 m時点においても摩耗の進展に伴う刃の欠けは生じておらず、本加工実験以上の距離の加工が十分可能と考えられる。

次に、逃げ面摩耗幅VBの測定例を図5(5-4)に、VBと切削距離Lの関係を図6に示す。図6よりDIAエンドミル、Crエンドミルとも切削距離にほぼ比例する形で摩耗幅が漸増している。しかし、CrエンドミルはL=0.4 m時点の摩耗幅が顕著に大きい。これは、先に述べたようにCrエンドミルのコーティング膜の表面がCFRPにより研磨され、すり減ったことで加工初期の摩耗幅が大きくなったと考えられる。また、実験終了時点の摩耗幅を比較すると、DIAエンドミルはCrエンドミルの1/2程度であり、CFRP加工にはDIAエンドミルが適することが分かる。

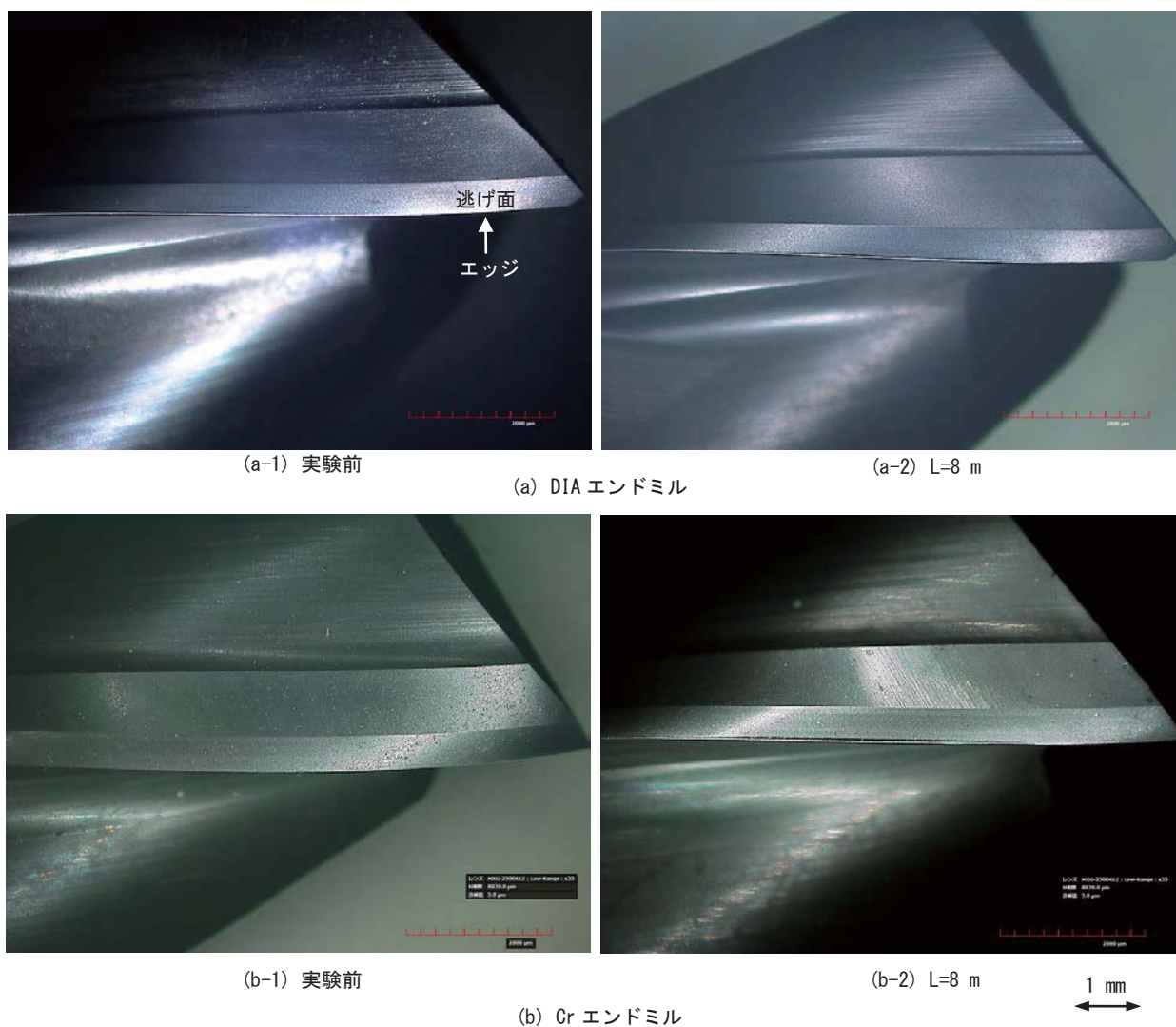


図3 刃の外観写真



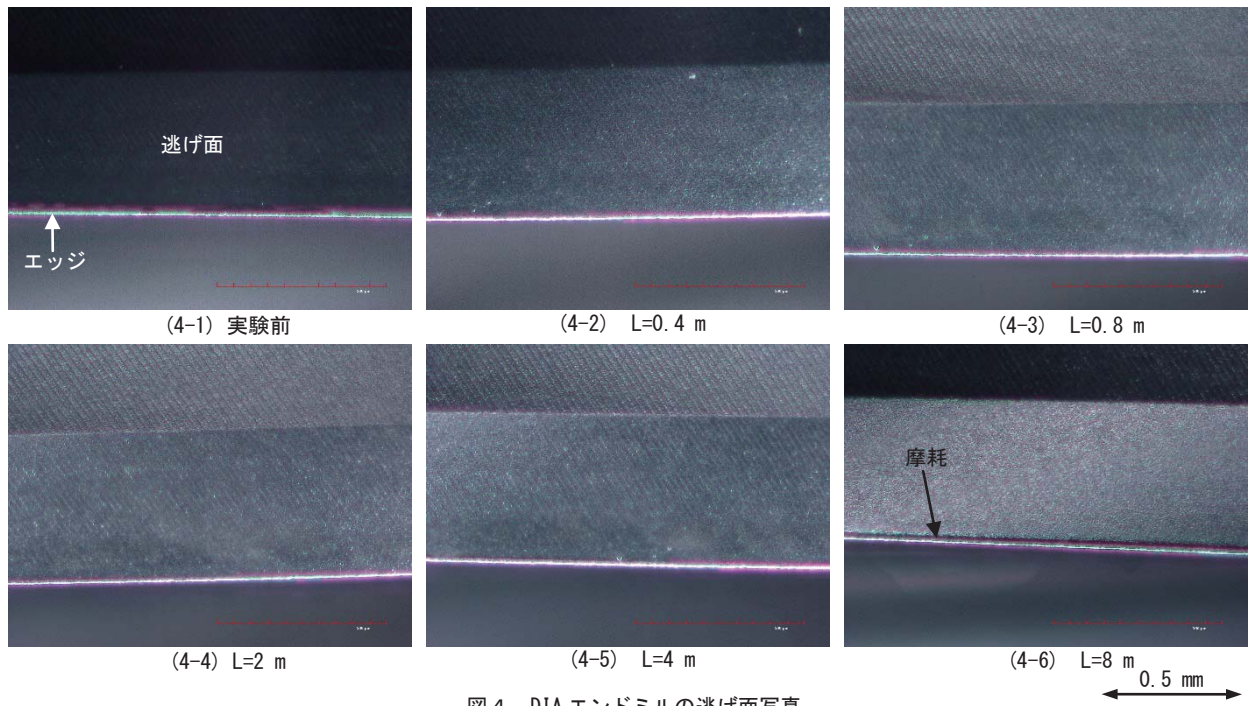


図4 DIAエンドミルの逃げ面写真

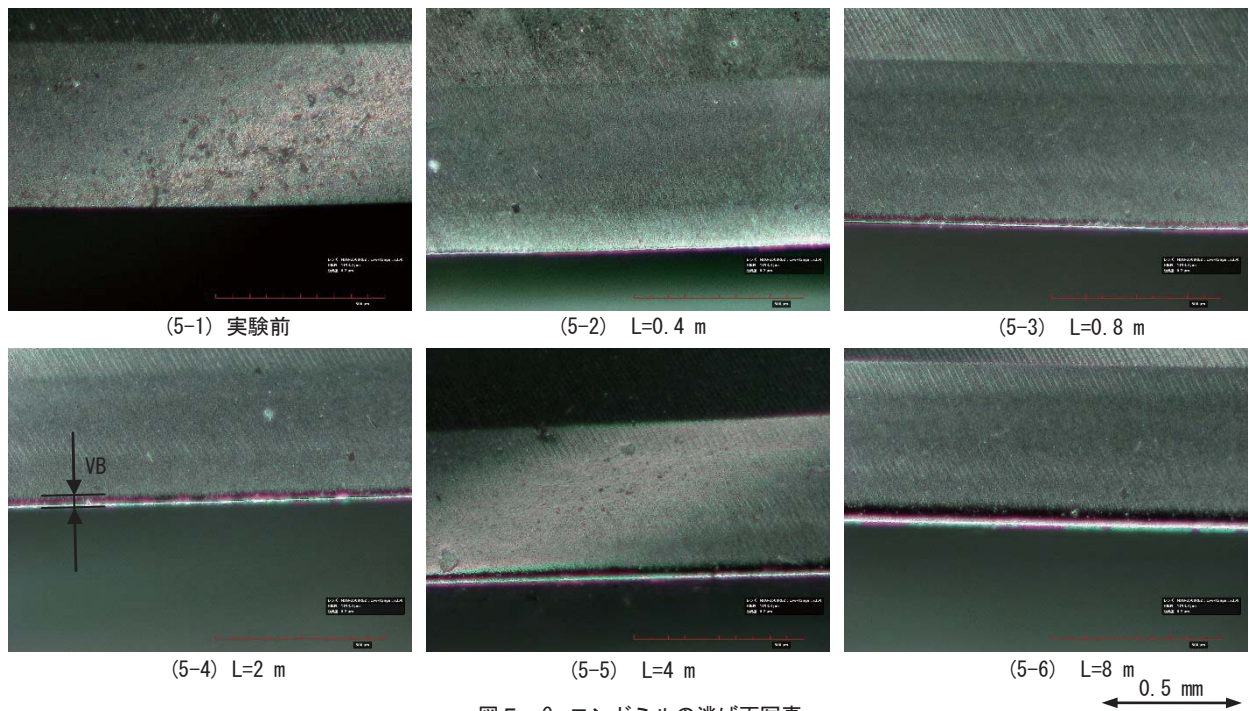


図5 Crエンドミルの逃げ面写真

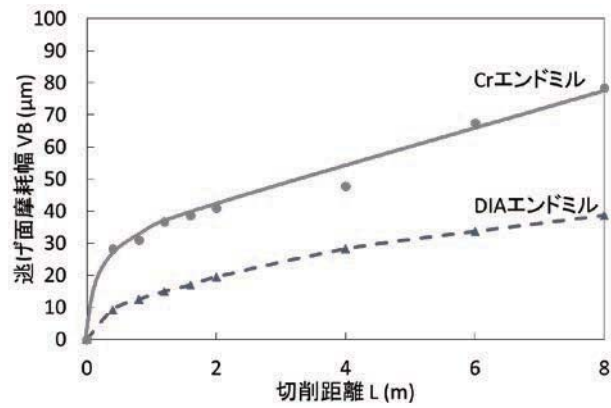


図6 逃げ面摩耗幅と切削距離の関係

しかしながら、Cr エンドミルの価格は DIA エンドミルの 1/6 程度と安価であることから、工具寿命に対する工具価格の比率は DIA エンドミルの 3 倍程度となり、経済性の観点からは CFRP の切削加工に Cr エンドミルを用いることは十分に有力な選択肢になると考える。

#### 4. おわりに

ダイヤモンドコーティング超硬エンドミルと Cr 系コーティング超硬エンドミルによる CFRP 切削実験を行い、以下の結果を得た。

- (1) ダイヤモンドコーティング超硬エンドミルの工具摩耗は、Cr 系コーティング超硬エンドミルの 1/2 程度である。
- (2) Cr 系コーティング超硬エンドミルは初期摩耗が多いが、CFRP の切削加工に使用することは可能である。
- (3) 経済性の観点からは Cr 系コーティング超硬エンドミルの方がダイヤモンドコーティング超硬エンドミルよりも優れている。

今後は、Ti 系コーティング超硬エンドミルなどによる CFRP 切削実験を継続して行い、加工技術情報を提供する予定である。

#### 謝 辞

本研究は、産業技術連携推進会議 中国地域部会 中国地域連携推進企画分科会 炭素繊維複合材料加工技術研究会において、国立研究開発法人産業技術総合研究所、広島県立総合技術研究所、地方独立行政法人山口県産業技術センターとともに、中国地域における炭素繊維複合材料加工技術の向上を目的として取り組んだものです。

実験に使用した被削材及び工具は産業技術総合研究所から提供いただきました。

また、実験に使用したマイクロスコープは、公益社団法人 J K A の公設工業試験研究所等における機械設備拡充事業により導入した装置です。

ここに感謝の意を表します。

#### 文 献

- 1) 武田一郎, 北野彰彦 ; CFRP による軽量化技術の未来展望, 機械技術, 日刊工業新聞社, 1, p.18(2013).
- 2) 加賀忠士, 社本英二, 田村純一, 財津匡克 ; CFRP の高能率トリミングを実現する 2 分割傾斜エンドミル加工法, 精密工学会誌, 80(2), p.183(2014).
- 3) 村上大地, 八代毅, 笹原弘之 ; CFRP のエンドミル加工における工具摩耗モデルの提案, 2014 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, p.713(2014).
- 4) 柳下福蔵 ; CFRP の切削加工, 日刊工業新聞社, p.15(2014).
- 5) 伊東克彦 ; 耐熱性複合材料 [IV] 熱可塑性樹脂系複合材料, 熱硬化性樹脂, 10(1), p.55(1989).
- 6) 小川仁, 日開野輔, 室内聡子, 小山厚子 ; 炭素繊維複合材料(CFRP)の用途拡大を目指した性能評価および試作開発, 徳島県立工業技術センター研究報告, 24, p.15(2015).
- 7) 深川仁 ; 航空機用 CFRP に対するブラストを用いた高効率孔あけ技術の開発, 岐阜大学, p.22(2015).