

## TODAY

## 東日本大震災で考えたこと



慶應義塾大学 理工学部  
教授 田中 茂

本年3月11日に東日本大震災が発生し、東北地方は未曾有の災害被害を受け、日本全国民が大きく心を痛める事態となった。被災された方のご苦勞を考えれば、取るに足らないことではあるが、私の所属する大学においても3月の卒業式が中止となり、4月1日の入学式は延期され、5月1日に行われた。新学期の授業開始は4月下旬以降となり、夏の電力危機に対応すべく7月中に授業を終了する為に5月連休中は授業を行う対応が取られた。この様に、例年と全く異なる状況になると、忙しさの中で漫然と時間を過ごし今まで疑問に思わなかったことを多くの方が、それぞれ、考える機会を得たのではないだろうか？

私の専門分野は環境化学であり、主として、大気中微量成分を計測することを行ってきた。東日本大震災後、福島第1原子力発電所の被災の結果、放射性物質の放出と周辺地域への環境汚染が問題となった。早速、米国の研究仲間の知人から連絡があり、福島第1原子力発電所周辺地域でモニタリングされている放射性物質濃度のデータを知りたく協力してもらえないかと言った要望があった。私自身、放射性物質の計測は行ったことはなく、放射性物質のモニタリングは門外漢である。しかしながら、Web検索を行い、日本国内の放射性物質のモニタリングについて調査を行ってみた。文部科学省、経済産業省(原子力安全保安院)、厚生労働省、農林水産省、環境省と言った国レベルの他、東京都と言った自治体レベルでも放射性物質のモニタリングが行われ、一応、測定データが各HPで公表されていることが判った。

その一方で、Web検索を通じて、大きな疑問を感じたのも事実であった。様々な省で環境中放射性物質のモニタリングを行っているのは事実である。

しかしながら、それは完璧な縦割り行政を反映しており、例えば、大気中放射性物質のモニタリングは文部科学省であり、水道水は厚生労働省、農作物は農林水産省といった具合である。また、いずれも、放射性物質の測定結果を単に公表して、それを基準値又は暫定基準と比較しているだけである。行政の立場からするとそれで良いことになるかもしれないが、それらの放射性物質のモニタリングデータを取りまとめて総合的に環境影響を評価する視点がないことは残念である。米国では、エネルギー庁がモニタリングデータを一括管理し、測定結果の一次データを加工して、環境影響を評価するシステムがある。福島第1原子力発電所の水素爆発による放射性物質の大気への放出後、周辺地域の大気中放射性物質濃度の減衰を最初に図に示し公表したのは、米国エネルギー庁のHPであり、単に、測定結果の一次データを時系列に並べることすらしないのは大いに疑問を感じた次第である。

また、福島第1原子力発電所周辺の放射性物質汚染の影響を政府が同心円状に示したのは、科学的には誤りであり、当然のことながら風の流れ等の気象条件と地形とを考慮して影響を示す必要がある。この点も放射性物質の輸送拡散のモデルシミュレーション結果が欧米で先に公表され、日本のマスコミから批判を受けた。更に、気象庁も同様なモデルシミュレーションを行いながら、精度が低いことを理由に公表しなかったことも疑問が残る。

要するに個々の省庁では対応していたかもしれないが、全体として一元化して対応するシステムが構築されていなかったことが問題であり、今後の検討課題と言える。そうしたことも想定外と言うかもしれないが、起きた不具合を真剣に検討し対応することが、同じ誤りを繰り返さない最良な手段である。

最後に、米国の知人への回答に、“福島第1原子力発電所周辺の放射性物質のモニタリングについては、日本より米軍に問合せの方が良いのでは”といったジョークを記した。そのジョークが真実でないことを期待して。

“航空機用等の炭素繊維強化プラスチック（CFRP）の加工技術の開発  
 に関するフィジビリティスタディ” 成果報告  
 非鉄材料研究部 部長 箕浦 忠行

1. はじめに

近年、航空機をはじめ自動車などの輸送機器用の材料として炭素繊維強化プラスチック（以下「CFRP」と呼ぶ。）が注目されている。CFRPは、他の主要な構造材料と比較して、比重が小さく、比強度、比弾性率が高く、最も軽くて、高剛性、高強度な材料という特長を持っている。

地球温暖化対策として、航空機や自動車業界において、軽量化による燃費の向上が進められているが、特に CFRP の採用の検討が増えており、すでに多くの採用例が出ている。しかしながら CFRP を航空機の構造材として使用する場合、剛性以外に厳しい基準の精度、面粗度が要求されるため、当然機械加工が必要となる。現在回転工具を用いた機械加工が主流であるが、加工の送り速度を上げると加工面粗度が大きくなり、層間剥離のようなダメージを与える可能性があることや工具のコストが高いといった課題があり、CFRP 使用拡大のネックとなっている。

そこで、本研究開発では、CFRP の高品質な加工を目的とし、摩耗の少ない新考案工具とそれを最大限に生かす加工機械の確立を目指した。

2. 研究開発の背景と実施体制

CFRP の加工に一般に用いられている回転工具加工の例として、この CFRP に対してダイヤモンド工具（図 1、2）を用いてフライス切削実験を行った結果を示す（図 3）。

むしろ、層間へのダメージなどの面性状も向上していることから、CFRP の切削原理は、ネガティブの刃先を持つダイヤモンドで、マトリックス部を引っ掻きながら削り、その中に潜む炭素繊維を削るのではなく、刃先で「折る」、「破断」する切削であるということが分かっている。このように、CFRP を回転工具で機械加工した場合、刃先で折

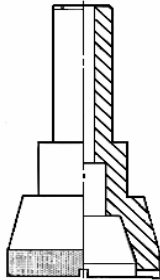


図1 ダイヤモンド工具



図2 ダイヤモンド工具での切削実験

[切削条件]  
 ・工具径：50×35mm  
 ・N=5,000 min<sup>-1</sup>  
 (V=785m/min)

送り速度 (mm/min)	表面粗さ Ra μm (測定3回のバラツキ)
500	2.88~4.21
1,000	2.26~6.12
4,000	2.75~10.36

F=4000  
T=0.2の切削



図3 SLダイヤモンド工具（粒度0.75mm）での切削実験結果

るという加工は、衝撃による破壊となってしまう、CFRP へのダメージが、そのまま層間剥離の原因となる。また、工具摩耗も激しく、工具寿命が短いという問題もあり、ケバ立ち、層間剥離のない、もっと効率的な加工方法が求められている。

前述の課題を解決するため、「CFRP の加工技術開発委員会」を組織した。同委員会の元、新日本工機（株）との協力および（独）産業技術総合研究所にはテスト結果の分析や評価を再委託し、本研究開発を推進した。

3. 切削試験装置の開発

CFRP 加工用の回転を用いない切削性に優れた新工具の開発と、その能力を生かす高剛性の工作機械の組合せによる CFRP に優しい加工方法を確立するための切削試験装置を開発した（図 4）。

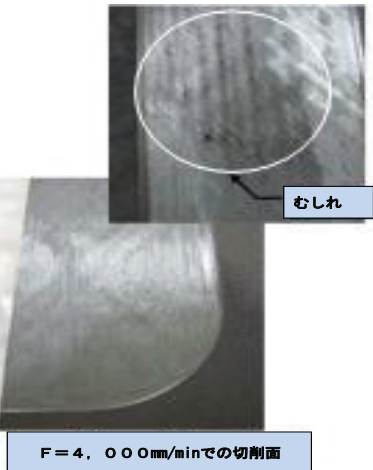


図4 切削試験装置

CFRP の最適な加工条件を追及するために、新工具による6軸制御までが可能でありかつ従来の回転型工具による加工も可能である。計測も動力、振動特性測定、表面観察のための顕微鏡システムなど必要なものを揃えている。



従来工具のテスト加工時は、立主軸を装着し、主軸に工具をセットし加工を実施した(図5)。



図5 従来工具による加工例

非回転型新工具によるテスト加工時は、立主軸にダミープレートを装着し、アダプタをボルトにて取り付け、新工具をセットし、テスト加工を実施した(図6)。



図6 新工具による加工例

#### 4. 非回転型新工具の設計と効果

難加工CFRPに適合するように、竹・木材などの繊維質材料にダメージ与えることなく加工するための木工工具及び彫刻刀の加工形態を参考にし、工具寿命などを勘案して工具材料および工具形状に改良を加えた(図7、8)。

評価項目としては、加工精度、面粗度などもあるが、基本的にはCFRP素材への加工によるダメージを低減させることを目標とする。例えば加工前後の曲げ強度の低下がないことなどが目標となる。

工具材質についても、加工条件・寿命・価格を勘案して最適な条件を探る。基本的には高靱性材料・単結晶素材の工具を検討する。サファイア、CBN、ダイヤモンドなどが候補である。高剛性6軸加工機と組み合わせて使用することにより、複雑形状に対する最適すくい角制御加工を可能にする。

被加工物であるCFRPは、図9に示すようにテストパネル(UD繊維方向45°の場合)を短冊形に切断し、従来工具と非回転型新工具で加工を行った。

切削加工試験は、1) すくい角と切削動力の関連調査、2) 工具、装置、ワークの剛性調査(ビビリ)、3) すくい角と切削性、面粗度の関連調査、4) 送り速度と面粗度の関連調査、5) 切削長と工具摩耗の調査、6) 繊維方向と面粗度及び切削力の調査を行ったが、ここでは、3)の一例を紹介する。

すくい角の異なる2種類の非回転型新工具にてCFRPの切削を同切削条件にて行い、加工面の顕微鏡写真の撮影と表面粗さ計による表面粗さを測定した。すくい角30°と45°の2種類の工具について、送り速度2,500mm/minで試験を行った。立体的なイメージを見るため、顕微鏡写真は加工スタート地点方向より、加工面の上方30°斜め上から撮影した。

各試験条件での

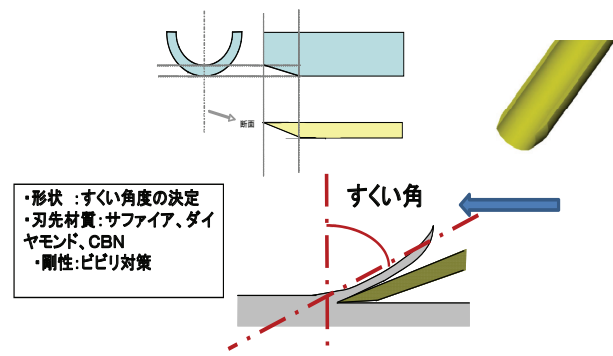


図7 工具の刃先形状の例



図8 新工具例

加工面顕微鏡データ及び表面粗さデータを図10、図11に示す。

表面粗さ計で測定したデータを見ると、すくい角が小さい方が面粗度が良い。

すくい角が45°の切粉は図12に示すように連続して繋がった切粉になるが、すくい角が30°の場合は切粉がせん断され細かい切粉になる。非回転型の新工具ではすくい角を小さくする方が切削力も小さくなり、加工面も綺麗に仕上がりに、刃先もチッピング頻度が低くなり、切粉もせん断され切粉回収処理が容易になる。

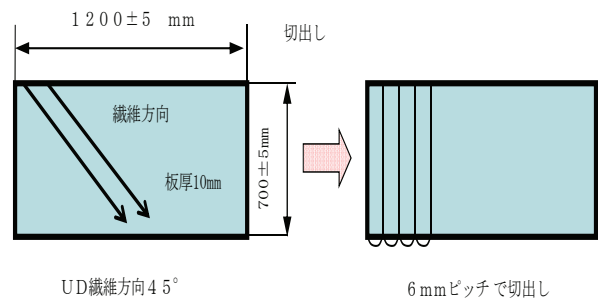


図9 CFRP テストパネル

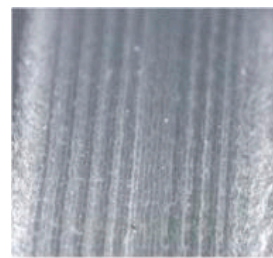


図10 45°超硬工具  
(倍率25倍)  
粗さ計データ3箇所平均:  
Ra1.38 μm



図11 60°超硬工具  
(倍率25倍)  
粗さ計データ3箇所平均:  
Ra0.79 μm



すくい角45°の切粉



すくい角30°の切粉

図12 切粉形状

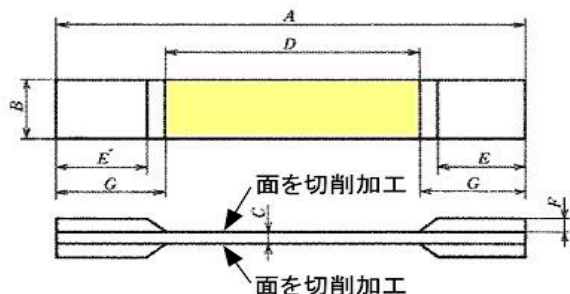


図13 試験片形状及び新旧の切削方法による切削加工面

### 5. 加工後のワークのダメージ評価

開発した切削方法によって加工されたCFRPが、従来の切削方法によるものと比較して力学特性が向上するかどうかを評価するために、引張り強度特性の比較を行った。

具体的な試験片に関しては、図13に示す色付の部分、新しい加工方法及び従来の加工方法で作製した2種類を準備し、その力学特性の差異を調べた。

開発した切削方法及び従来の切削方法で、UD繊維方向45°、及び0°/90°交互積層の2種類、計4種類の試験片を作製し、その引張り強度特性を比較した(各n=5)。具体的な試料を次に示す。

- 試料A 従来工具 φ8ダイヤモンドコートエンドミル UD繊維方向45°
- 試料B 新工具 UD繊維方向45°
- 試料C 従来工具 φ10超硬エンドミル 0°/90°交互積層
- 試料D 新工具 0°/90°交互積層

試料形状はJISK7083:1993炭素繊維強化プラスチックの定荷重引張り-引張り疲れ試験方法の規格に準じ(幅は製作工程に合わせて変更)、切削面積を十分に確保してその力学的な効果の検証に適切なものとした(図14)。

開発した切削方法及び従来の切削方法による試験片の破断強度特性を図15に示す。

左図は、試料A(従来工具φ8ダイヤモンドコートエンドミルUD繊維方向45°)および試料B(新工具UD繊維

方向45°)である。右図は、試料C(従来工具φ10超硬エンドミル0°/90°交互積層)および試料D(新工具0°/90°交互)である。

UD45°の場合には、0°/90°積層の場合と比較して、その強度は1/100以下となっている。UD45°での新工具による加工試料は、従来工具による加工試料に比べて、27%程度、有意に(p<0.05)破断強度が上昇していることがわかる。

### 6. 今後の課題および展開

平板での新提案工具の実用性は認められた。従来工具に比べて、主軸の動力が要らないため機械自体を安く作れるし、主軸を回転させる電力が不要となり省エネをアピールできる。加工後の粉塵も従来工具の場合、細かい粒子が飛び散り人体に影響があるが、新工具で加工すると切粉が飛び散らず下に落ちて屑屑になるため環境にやさしい。

今後の課題としては、1)チップングのし難い切削性の良い工具を追及していかなければならない。そのためには材質、形状について最適な条件を探していく必要がある。2)従来工具と生産性で比較すると



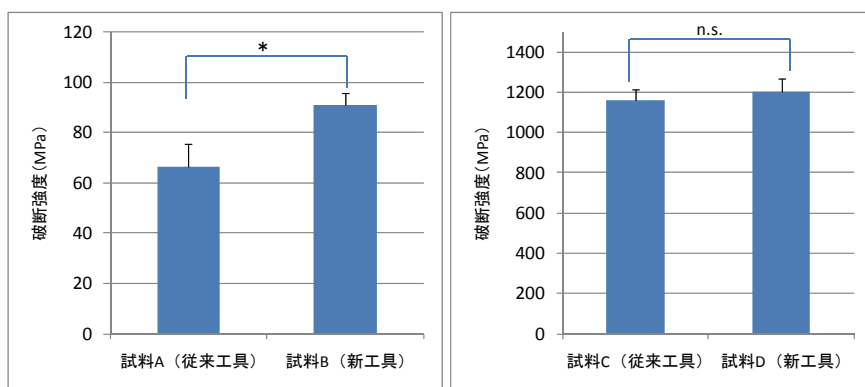
図14 試験片形状

送り速度が遅く従来工具の方が早く削れるので、更なる生産性を上げる必要がある。このためには加工面の改善、工具チップングの回避を考慮に入れながら送り速度を上げて加工できる方法を検討すべきである。

開発課題が解決されれば、CFRPの利用拡大を図ろうとしている航空機産業などに対してこの成果に基づくCFRPの高精度、高能率な加工方法と機械を、供給することとする。これにより、高能率な加工方法が、中小企業にも広く普及することが期待でき、また、我が国工作機械の技術の向上と、航空機運用面などでの炭酸ガス排出削減に寄与できることとなる。

\*\*\*\*\*

本研究開発は、財団法人JKAから機械工業振興資金の交付を受けた機械システムに関する調査研究等補助事業を財団法人機械システム振興協会から委託され研究開発事業として、平成22年度に実施したものである。



\* :p<0.05

図15 炭素繊維方向及び加工方法による破断強度比較(各n=5)

The Japan Research and Development Center for Metals

JRCM NEWS / 第296号

内容に関するご意見、ご質問はJRCM総務企画部までお寄せください。  
本書の内容を無断で複写・複製・転載することを禁じます。

発行 2011年6月1日

発行人 小紫正樹

発行所 財団法人金属系材料研究開発センター

〒105-0003 東京都港区西新橋一丁目5番11号 第11東洋海事ビル6階

T E L (03)3592-1282 (代) / FAX (03)3592-1285

ホームページ URL <http://www.jrcm.or.jp/>

E-mail [jrcm@oak.ocn.ne.jp](mailto:jrcm@oak.ocn.ne.jp)