調査・報告

次世代切削加工技術に関する調査研究

田村　信*　石川　淳**　菅野　明宏**　須藤　貴裕**

Report of Market and Technology Trend of Next-generation Cutting Technology

TAMURA Makoto*, ISHIKAWA Atsushi** , KANNO Akihiro** and SUTOH Takahiro**

1. 緒　　言

当所では，1995 年に戦略技術研究「超高速切削加工技術」に着手し，これまで金属難削材である高硬度金型鋼，チタン合金，ニッケル基耐熱合金などを対象として，高速ミーリング加工の適用を進めてきた。

近年，材料面において，異なる材料を組み合わせて優れた性質を創出する「複合材料」の活用が進展している。航空機産業を例にすれば，機体の軽量化のために従来のアルミニウム合金から炭素繊維強化プラスチック複合材（CFRP）への変換が拡大し，新規機体開発においては必須材料となっている。

また，金属基複合材料（MMC），セラミックス基複合材料（CMC）についても，強度，軽量，耐熱性などのさらなる高機能化が求められる分野への適用が進みつつある。

一方，これら複合材料は部材としての形状創製が困難なことが多く，切削加工についても高い難削性を示し，普及に向けた課題のひとつとなっている。そこで，本調査研究では，MMC を対象として，市場および技術動向を調査するとともに簡易な切削加工試験を実施し，加工技術開発の可能性と方向性について検討した。

2. MMC の動向調査

2.1 MMC の概要

MMC は母材（マトリックス）に金属を用い，セラミックスなどの強化材料を複合させた材料であり，軽量かつ高強度，高耐摩耗性，さらには優れた熱特性を有していることが特徴である。マトリックスにアルミニウム合金を用いたアルミニウム基複合材料（Al 基複合材料）が最も使用されており，より軽量化を目的とする場合にはマトリックスにマグネシウム合金が，高温域で使用するためにはチタン合金が用いられている。

また，強化材料には炭化ケイ素（SiC）やカーボンが用いられている。MMC の材料特性値は，マトリックスの種類および強化材料の種類や形態によって変わり，様々な特性の材料が製造されている。

2.2 MMC の市場動向

MMC は航空機の機体やエンジンなどの構成部材としての適用のほか，自動車部品やパワーデバイスの放熱部品として採用されている。航空機分野では，エンジンのファンステータブレードへの適用例がある[1)]。チタン合金に比べて軽量化が可能なこと， CFRP に比べて耐食性が高く，衝撃特性が優れていることが採用の理由である。自動車分野ではエンジンやブレーキの部品に採用された事例がみられ，例えばブレーキキャリパは Al 基複合材料を採用することで重量が従来の 50%に低減されるなどの効果が得られている[2)]。航空機分野と自動車分野では部材の軽量化や高強度化を目的に使用されている事例が多くみられる。

良好な熱特性を利用するという観点から，パワーデバイスの放熱基板としての適用例がある。パワーデバイスの高出力化に伴い，発熱量の増

*　中越技術支援センター
**　研究開発センター

加対策が課題となっており，Al 基複合材料は 300℃程度の温度でも優れた機械的性質を持つこと，さらに熱膨張が小さく，熱伝導率が高いことを理由に採用が進んでいる[3]。ネットワークの高速大容量化，EV・HV の増大などを背景に，今後も利用拡大が期待できる。

一方で，MMC の 2020 年における市場規模は 4 億 6700 万ドルと推定[4]されており，材料としては大きくないのが実情である。材料特性が優れている反面，コストが高いことが普及のネックとなっており，材料製造や二次加工の低コスト化が今後の利用拡大への課題である[5]。

2.3 MMC の加工技術

日本国内には，強化材料に SiC 粒子を用いた Al 基複合材料の部材を製造するメーカが数社存在する。一般的に Al 基複合材料部材は，砂型重量鋳造で製造されるが，強化材料に起因して湯流れ性が悪くなるため，鋳造欠陥を生じやすく，また寸法精度も悪化する。2010 年以降，国内各製造メーカは技術開発を進めており，砂型低圧鋳造法，溶湯鍛造法，精密鋳造法など，各メーカ独自の製造技術を有している。一方，二次加工として必要となる切削加工については，強化材料の高硬度な特性によって，切削工具の損傷が激しく，工具費などの加工コスト低減が大きな課題として存在し，Al 基複合材料の用途や販路拡大に対する足かせとなっている。

3. MMC の切削加工試験

強化材料に平均粒径 25μm の SiC 粒子を 40%体積含有した Al 基複合材料を対象に切削加工試験を実施した。強化材料である SiC の硬度は 2000HV 程度であり，一般的に工具材は被削材の 3 倍以上の硬度が必要といわれていることから，ダイヤモンドの適用が考えられる。本試験では，市販のダイヤモンドコーティング超硬工具を使用し，除去加工量の程度や工具損傷状況などを把握した。被削材に用いた Al 基複合材料の組織観察写真を図 1 に示す。切削加工試験は，静岡鐵工所製立形 NC フライス SMV-520 を用いて，図 2 に示すとおり，被削材ブロック側面を表 1 に示す加工条件で切削し，切削加工の進行に伴う，工具刃先の損傷を観察した。

図 3 に工具切れ刃逃げ面の観察結果を示す。除去量 3.0cm^3 では，摩耗や欠損は観察されず，工具切れ刃は良好な状態を保っている。除去量 4.5cm^3 では，切れ刃の一部に損傷が観察されるようになり，除去量 6.0cm^3 では，損傷領域が

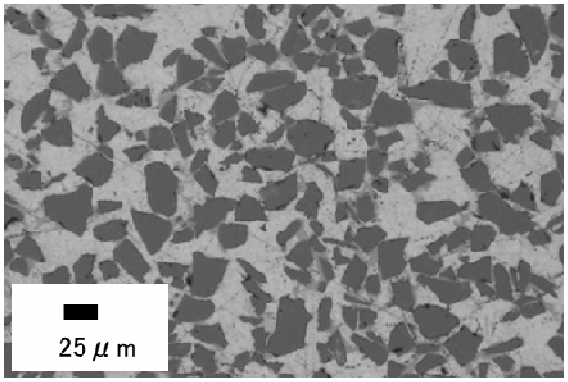

図 1　Al 基複合材料の組織

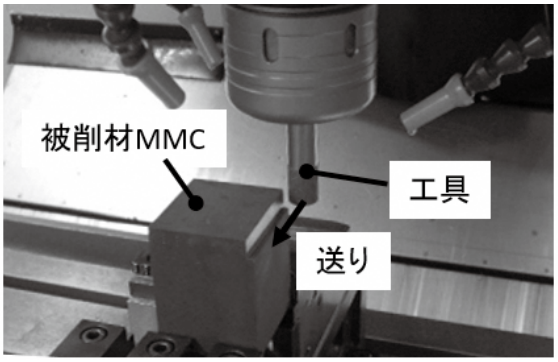

図 2　切削試験方法

表 1　加工条件

工具	種類	ダイヤモンドコーティング 超硬エンドミル （2枚刃）
	直径 (mm)	16
工具突き出し (mm)		50
切削速度 (m/min)		50
送り速度 (mm/min)		200 （fz=0.1mm／t）
軸方向切り込み (mm)		10
径方向切り込み (mm)		0.1
潤滑		外部クーラント供給 （水溶性エマルション10%）

広範囲に拡大している。図 4 に示す電子顕微鏡観察像からは，部分的に大きなダイヤモンド

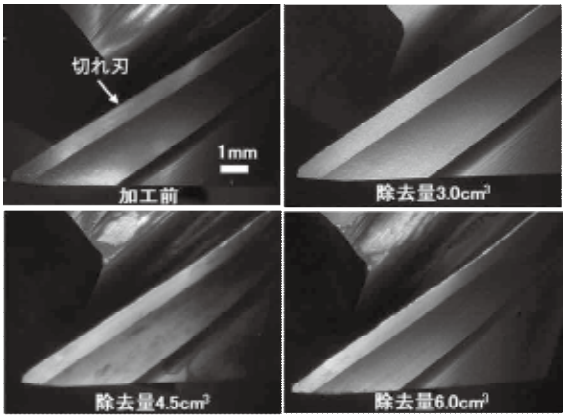

図 3　工具切れ刃逃げ面観察結果

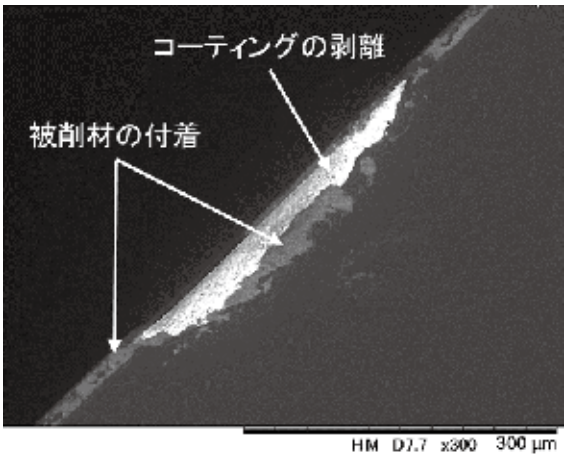

図 4　刃先の電子顕微鏡観察像
（除去量 6.0cm³ 後）

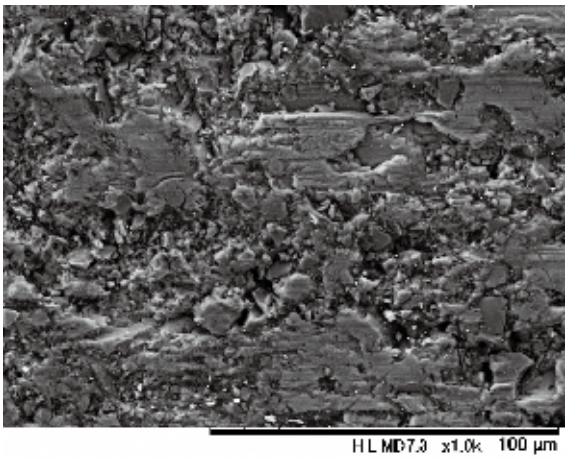

図 5　被削材加工面の電子顕微鏡観察像

コーティングの剥離が存在していることがわかる。摩耗形態が不均一であることから，この後急激に工具損傷が進むものと想像される。

また図 5 に切削加工面の電子顕微鏡観察像を示す。加工面には 10μm 以下の細かな粒状の付着物が観察される。成分分析から SiC 粒子であることがわかり，工具切れ刃の衝突によって被削材中の SiC 粒子が粉砕したものと推定される。品質への影響については，適用部品の要求に応じて検討する必要がある。

4.　結　　言

(1) MMC は今後も成長市場での利用拡大が期待でき，新たな鋳造法などの技術開発が進んでいるが，依然切削などの二次加工技術に課題を抱えている。

(2) ダイヤモンドコーティングエンドミルによる Al 基複合材料の切削加工試験を実施し，工具摩耗特性や加工面性状について把握した。

参考文献

1) https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/683/1/012063/pdf，「IOPSCIENCE ホームページ」，2021 年 3 月 8 日

2) https://multimedia.3m.com/mws/media/1440890O/3m-nextel-ceramic-textiles-fibers-and-composites.pdf，「3M ホームページ」，2021 年 3 月 8 日

3) 佐々木元，”高熱伝導性アルミニウム基複合材料の開発とプロセス制御”，軽金属，第 62 巻，第 5 号，2012，pp.223–230.

4) https://www.gii.co.jp/report/smrc951527-metal-matrix-composites-global-market-outlook.html，「（株）グローバルインフォメーションホームページ」，2021 年 3 月 8 日

5) 陳平，”金属基複合材料の切削加工技術”，鉄と鋼，Vol.80，No.2，1994，pp.54-58.