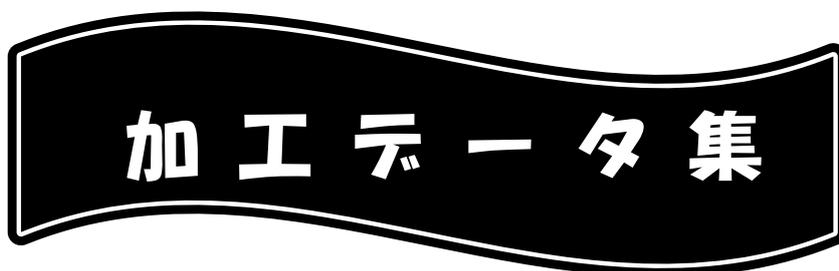


東北経済産業局

平成 24 年度次世代ものづくり基盤加工技術調査事業

次世代ものづくり基盤加工技術調査



協力機関名

(地独) 青森県産業技術センター 八戸地域研究所

(地独) 岩手県工業技術センター

秋田県産業技術センター

宮城県産業技術総合センター

山形県工業技術センター

福島県ハイテクプラザ

東北大学 大学院 工学研究科

(独) 産業技術総合研究所 東北センター

東北経済産業局

委託先: 財団法人 青葉工学会

目 次

1. 調査の目的、内容	2
2. 次世代ものづくり基盤加工技術調査の概要	5
3. (調査結果)	
析出硬化系ステンレス鋼の切削加工技術 ((地独) 青森県産業技術センター 八戸地域研究所)	10
構造用非鉄合金の切削加工 ((地独) 岩手県工業技術センター)	28
複合材料 (CFRP) 及び耐熱合金の切削加工技術 (秋田県産業技術センター)	41
次世代高度電子機械産業で使われる素材の加工技術開発 サブテーマ1：無酸素銅の切削加工技術 サブテーマ2：単結晶SiCの研削加工技術 (宮城県産業技術総合センター)	52
超硬合金の切削加工技術 (山形県工業技術センター)	69
チタン・チタン合金の小径ドリル加工 (福島県ハイテクプラザ)	89

1. 調査目的、内容

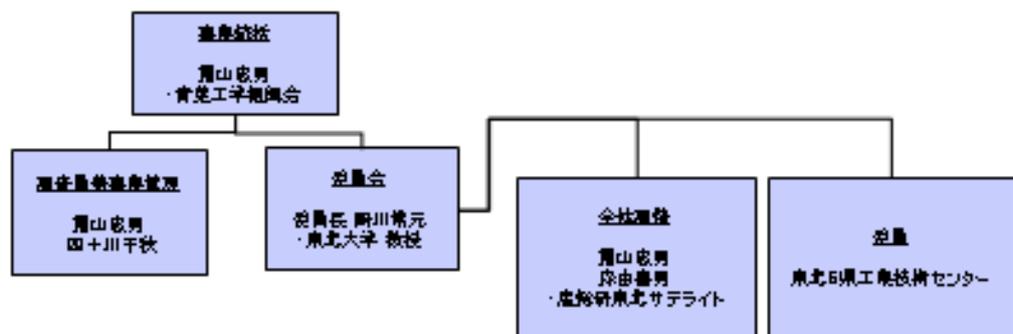
- 今後の自動車産業、航空機産業及び半導体産業等では、次世代のものづくりにおける新材料や難削材料の採用が活発化されることが予想される。例えば、複合材料の採用による軽量化、耐熱向上を目指したセラミックスパワー半導体など、東北地域では一般化されていない材料である。
- 上記の産業の東北地域での発展に伴い、地域のサポーティングインダストリーを担う企業（以下、「地域サポイン企業」という。）には、従来では経験のない材料に係る加工依頼が発生することが予想される。
- 一方、加工条件の探索には、各企業が個々に事例を収集し、試行錯誤を経て条件を決定しており、膨大な手間と時間を要している。
- 地域サポイン企業では事例収集にあたり、論文や技術報告書などを参考にしているが記載上の条件で加工を行なってもそのとおりにならないことが多い。
- 地域サポイン企業における機械装置の条件や加工者の特性などがあり、条件探索の記載だけでは伝えきれない領域があるということが認識される。
- 今回の調査は今後、必要となる次世代のものづくりに必要な新材料や難削材料の加工や製造に係る加工技術調査を地域の大学及び公設研が連携して実施することにより、地域サポイン企業の国際競争力強化を、図ることを目的としたものとする。
- 東北6県における対象品の選定及び調査については、各6県の公設研の技術職員と連携して行うこととする。
- これらの6県公設研の活用を効率的にするため、技術的な内容の統括について東北大学の専門家を招聘し、内容の調整を図る。
- 大学及び公設研などのアカデミアで対象となっていない領域について、地域産学官で協議・決定し、かつ、産業界のニーズが高い領域について、東北大学と東北6県公設研の専門家で次世代のものづくりに係る加工データを調査する。
- 対象とする技術領域は、自動車産業や半導体産業に欠かせない切削・研削領域とする。
- 将来像として、本報告書を参考とした条件探索を行う地域サポイン企業が、「記載だけでは伝えきれない領域」＝「実際の感触」についての指導を希望する際は、まさに公設研の技術職員がフェースtoフェースで指導することが可能であり、技術データにモノ・人両面でアクセスフルな地域の強みを活かした取り組みのきっかけとなるものを目指す。

平成24年度次世代ものづくり基盤加工技術調査に係る調査イメージ



【実施体制・役割分担】

- ・ 業務実施体制 受託機関:財団法人青葉工学会



- ・ 役割分担
 - ▶ 事業統括: 本調査事業の全体を統括する。
 - ▶ 調査員: 本事業における調査項目について調査する。報告書を作成する。
 - ▶ 委員会: 調査対象物や調査方法を検討し決定する。また、調査データに対する分析・検討を行う。
 - ▶ 委員会における全体調査: 委員会運営を円滑に行うため、委員長を補佐し5県工業技術センターに対する資料提出様式などを専門的な知識により取りまとめる。

<委員会メンバー>

機 関 名	氏 名	役 職	備 考 (E-mail)
東北大学大学院工学研究科	厨川常元	教授	委員長
(地独) 青森県産業技術センター 八戸地域研究所	中居 久明	主任研究員	hisaaki_nakai@ao mori-itc.or.jp
(地独) 岩手県工業技術センター	飯村 崇	主査専門研究員	t-iimu@pref.iwat e.jp
秋田県産業技術センター	加藤 勝	主任研究員	masaru@rdc.pref. akita.jp
宮城県産業技術総合センター	渡邊 洋一	副主任研究員	watanabe-yo436@p ref.miyagi.jp
	齋藤 佳史	研究員	saito-yo911@pref .miyagi.jp
	久田 哲弥	副主任研究員	hisada-te954@pre f.miyagi.jp
山形県工業技術センター	江端 潔	主任専門研究員	ebatak@pref.yama gata.jp
	村岡 潤一	研究員	muraokaj@pref.ya magata.jp
福島県ハイテクプラザ	吉田 智	専門研究員	yoshita_satoshi_ 01@pref.fukushim a.jp
(独) 産総研 東北サテライト	森 由喜男	招聘研究員	y-mori@aist.go.j p
経済産業省東北経済産業局 地域経済部 産業技術課	油川 一義	課長補佐	オブザーバー
	齋藤 美和	総括係長	オブザーバー
	百目鬼 行弘	係長	オブザーバー

○次世代ものづくり基盤加工技術調査の概要

公設研名： (地独)青森県産業技術センター八戸地域研究所

テーマ： 析出硬化系ステンレス鋼の切削加工技術

選定材料： 15-5ph

結 言

本調査により以下のことが明らかになった。

- (1) 工具形状 SM(切刃形状 95° , 刃先角 80° , すくい角 10° , ノーズ R0.4mm) で 15-5PH と SUS304 の切削加工を行い、比較を行った。理論仕上げ面粗さ R_z に対する表面粗さ R_z の比 (R_z/R_{zth}) はほぼ同等であることが分かった。また、SUS304 は切込量と送りが大きくなるとビビリ振動が発生したが、15-5PH はビビリ振動の痕は見られなかった。工具摩耗についてはほぼ同等であった。
- (2) 工具形状 (ブレーカ) 別および切刃形状別で 15-5PH の切削加工特性を調べた。工具形状別では SA (切刃形状 95° , 刃先角 80° , すくい角 6° , ノーズ R0.4mm) において R_z/R_{zth} が小さく、⑥TSF (切刃形状 95° , 刃先角 80° , すくい角 18° , ノーズ R0.4mm) において切りくずの排出性が良いことが分かった。切刃形状別では⑩切刃 93° (切刃形状 93° , 刃先角 55° , すくい角 10° , ノーズ R0.8mm) において表面粗さ R_a が小さく、⑨ 75° (切刃形状 75° , 刃先角 90° , すくい角 10° , ノーズ R0.8mm) において切りくずの排出性が良いことが分かった。

公設研名： (地独) 岩手県工業技術センター

テーマ： 構造用非鉄合金の切削加工

選定材料： Co 合金&銅合金 (ベリリウム銅)

結 言

本調査により以下のことが明らかとなった。

- (1) 株式会社エイワ製のいわて発 CCM 合金の加工には、焼き入れ鋼用のエンドミルを使用する必要がある。これは、従来の CCM 合金と比べ高い硬度を有するためであると考えられる。また、あえて汎用工具で加工する場合には、CrN のコーティングの様に、耐凝着性を高めたエンドミルを選択すると良い。ただし、ダイヤモンドや DLC は Cr との化学反応が原因と思われる摩耗が進むため適さない。折損は全てアップカットの際に起こっており、取り代が大きい場合は CCM 合金加工における工具寿命を考えると、アップカットを極力避けた方が良いと考えられる。
- (2) CCM 合金の表面をボールエンドミルで仕上げる場合、目視では R1.0mm~2.0mm が、粗さの数値では R2.0mm 以上が適しており、必要とされる機能に応じて使い

分けると良い。

- (3)ベリリウム銅の加工においては、今回の実験では加工量が少なくコーティングの違いによる差を確認するには至らなかった。今後追加で確認を行っていく予定である。

公設研名： 秋田県産業技術センター

テーマ： 複合材料（CFRP）及び耐熱合金の切削加工技術

選定材料： CFRP（エンドミル加工）&ハステロイ（穴あけ加工）

結 言

本調査により以下のことが明らかになった。

○CFRP 材のトリム加工について

- (1) CFRP 材のトリム加工では、工具寿命や加工品位の観点から、超硬母材のダイヤモンドコーティング工具の使用を推奨する。超硬及び DLC コーティング工具でもトリム加工は可能であるが、直ぐにバリ等が生じる可能性が高い。また、ハイス母材コーティング工具は不適である。
- (2) ダイヤモンドコーティング工具では、一般的にルータータイプは荒加工向け、エンドミルタイプは仕上げ加工向けと言われているが、仕上げ面粗さに明確な差は見られないものもある。また、ダイヤモンドコーティングの膜厚が加工品質に影響する可能性が高いので、出来る限りシャープな切れ刃を有する超微粒・薄膜のダイヤモンドコーティングが良い。
- (3) ねじれ角の大きい工具は表面のバリやデラミネーション（層間剥離）を促進する可能性があるため、工具形状としては、ねじれ角の小さい多刃工具が有効であると考えられる。
- (4) 一概に CFRP 材と言っても多種多様である。工具メーカーが CFRP 加工用と推奨する工具でも、すべての CFRP 材に適するとは限らない。従って、テスト加工等を踏まえて工具選定することが望ましい。

○ハステロイ X の穴加工について

- (1) 工具材質としては、超硬ソリッドまたは超硬母材のコーティング工具の使用を推奨する。また、工具形状としては、シンニングを施したシャープな切れ刃を有する形状が良いと考えられる。
- (2) ハイス母材のコーティング工具は、コーティングの種類により使用可能なものもあるが、一般的には使用不可と判断できる。
- (3) 本実験で使用したセンタースルードリルは、切屑排出性は良かったが工具摩耗の抑制にはあまり効果が認められなかった。標準形状より価格が高い分、使い分けが必要であると考えられる。

公設研名： 宮城県産業技術総合センター

テーマ： 次世代高度電子機械産業で使われる素材の加工技術開発

サブテーマ1：無酸素銅の切削加工技術

サブテーマ2：単結晶SiCの研削加工技術

選定材料： 無酸素銅&単結晶SiC

結 言

○無酸素銅の切削加工については、市販工具（A、B、C）を使用し加工後の表面性状、表面粗さ、摩耗状態の調査を行い以下の知見が得られた。

- (1) 工具Aが他の工具と比較して加工表面状態が良好となる。
- (2) 切削液冷却方法による加工方法がオイルミスト冷却方法よりも鏡面に近い表面状態が得られる。
- (3) 表面粗さの最小値は工具Aを使用した場合で工具回転数20000、一刃送り量 $50\mu\text{m}$ 切削液での加工条件にて得られ、 $0.0121[\mu\text{m}]Ra$ を得た。
- (4) 工具のニゲ面摩耗幅は工具Cが最小となり摩耗幅の増加量も最小となった。

○単結晶SiCを様々な砥石で加工した本研究により以下のことが明らかになった。

- (1) 砥石SDC200N75BJ1による平面研削では、研削抵抗は砥石周速度1300m/minで法線及び接線方向ともに最小となった。砥石周速度に因らず表面粗さ $0.3\mu\text{m}Ra$ が得られる。破碎は砥石周速度1300m/minで最も少なくなった。
- (2) 砥石SD1000N75BL1による平面研削では、研削抵抗は砥石周速度1300m/minで法線方向が最大、接線方向は最小となった。砥石周速度に因らず表面粗さ $0.04\mu\text{m}Ra$ が得られる。破碎は砥石周速度1300m/minで最も少なくなった。
- (3) 砥石SD2000P100CRによる平面研削では、研削抵抗は砥石周速度1300m/minで法線方向が最大、接線方向は最小となった。砥石周速度に因らず表面粗さ $0.05\mu\text{m}Ra$ が得られる。破碎は砥石周速度1300m/minで最も少なくなった。
- (4) 砥石SD2000L50BL1による平面研削では、研削抵抗は砥石周速度1300m/minで法線及び接線方向とも最小となった。砥石周速度に因らず表面粗さ $0.03\mu\text{m}Ra$ が得られる。破碎は砥石周速度1300m/minで最も少なくなった。
- (5) 砥石SD5000P100CRによる平面研削では、研削抵抗は砥石周速度1300m/minで法線方向が最大、接線方向は最小となった。砥石周速度に因らず表面粗さ $0.02\mu\text{m}Ra$ が得られる。破碎は砥石周速度1300m/minで最も少なくなった。
- (6) 砥石SD5000L50BL1による平面研削では、研削抵抗は砥石周速度1000m/minで法線方向が最大、接線方向は最小となった。砥石周速度に因らず表面粗さ $0.01\mu\text{m}Ra$ が得られる。破碎は砥石周速度600m/minで最も少なくなった。

公設研名： 山形県工業技術センター

テーマ： 超硬合金の切削加工技術

選定材料： 超硬合金

結 言

【実験 1】では、超硬合金 VM-30 を被削材としたときの軸付電着ダイヤモンドストレー
ト砥石（以下、電着砥石）とダイヤモンドコーテッドラジアスエンドミル（以下、ダ
イヤコート工具）の適正ミーリング条件を、ツールパスごとに調べ、以下のことが明
らかになった。

- (1) 電着砥石での深切込み低送り溝加工では、研削液が研削点まで供給されにくく、
短時間でめっき層の剥離までに至ってしまう。φ4 電着砥石#100 では、軸方向切
込み深さ 3mm の溝を加工できなかった。
- (2) 一方、研削液の供給を改善したトロコイドパスでは、幅 4mm・深さ 3mm の溝を、
φ3 電着砥石#100 で加工することができる。そのときの加工条件は、側面加工の
適正条件から、研削のフライスモデルを用いて導出することができる。
- (3) ヘリカルパスにステップフィード（イニシャル点復帰）を組み合わせることで、
直径 5.5mm・深さ 3mm の止まり穴を、φ4 電着砥石#100 で加工することができる。
- (4) ダイヤコート工具で高能率に溝を加工するには、浅切込み高送りが有効である。
また、浅切込み低送りによって、溝底面を鏡面に仕上げることができる。φ2 工
具では 0.006 μmRa が、φ0.011 μmRa が得られた。ダイヤコート工具には研削液
ではなく、エアブローを使用する。
- (5) 工具のほぼ全幅で切削する溝加工では、すくい面と逃げ面のダイヤコートが割れ
て剥離し、工具寿命に至る。
- (6) 工作機械やツーリング、治具・取付具等の剛性が十分でない場合は、削り残しが
生じる。
- (7) ランピング時の送り速度を下げることで、ダイヤコート工具を損傷させることな
く、傾斜角度 0.1° または 0.2° で切り込みことができる。
- (8) 同様に送り速度を下げることで、ダイヤコート工具を損傷させることなく、ヘリ
カル加工ができる。このとき、ステップフィードなしでも工具径と同じ深さまで
連続加工できる。

【実験 2】では、VM-30 の適正加工条件のもと、φ2 ダイヤコート工具で多様な超硬合
金材種に溝を加工し、その被削性（切削抵抗、溝底面粗さ等）を比較し、以下のこと
が明らかになった。

- (1) WC 粒子の大きさが同じであれば、HRA 硬さが高いほうが切削抵抗も大きくなる傾
向がある。また、HRA 硬さが同程度であれば、WC 粒子が大きいほど切削抵抗が大
きい。

- (2) WC 粒子の大きい材種、特に VU-60 は、浅切込み低送り加工を施しても、粗さが向上しない。浅切込み低送りによる仕上げ加工が効果的なのは、比較的 WC 粒子が小さく、HRA 硬さが高い材種であり、それ以外の VC-30、VC-50、VM-50、VU-60 等に対しては、VM-30 の適正加工条件は適さない。

公設研名： 福島県ハイテクプラザ

テーマ： チタン・チタン合金の小径ドリル加工

選定材料： Ti 合金

結 言

チタン合金の小径ドリル加工実験を行った結果、次のことが分かった。

- (1) 小径深穴ドリルサイクル (G83) による穴加工では、送り速度 (送り量)、回転数 (切削速度) よりも、ステップフィード量の調整が加工時間短縮に効果的である。
- (2) 送り速度 (送り量) を上げると、切削時に切れ刃が被削材に接触しながら移動する長さが短くなり、摩耗量が減少する傾向が見られる。
- (3) 回転数 (切削速度) を上げると、切削時の刃先の温度上昇が大きくなり、摩耗量が大きくなる。
- (4) ステップフィード量を大きくすると、切り屑排出動作の回数が減り、切れ刃に圧着した切り屑の剥離による摩耗 (超硬合金粒子の脱落) が抑えられ、工具摩耗量が小さくなる。
- (5) チタン合金の穴加工では、蛇腹状の連続した切り屑が生じるため、ステップフィード量を大きくすると、工具形状によっては折損を生じやすくなる。