

解説 9

微細加工業者が考える これからの微細工具（彫刻屋の挑戦）

三井 豊

Yutaka Mitsui
三井切削

現在、小径工具や微細工具を使用した難削材への加工が注目を集めている。主な要因として、高精度な加工機の出現や高速回転主軸が一般化したことや微細工具の標準化が進んでいることが考えられる。ただし、道具（この場合は高精度マシニングセンタと微細エンドミル）が揃ってしまえばほとんどの差別化自体は難しくなる。つまり、道具が一緒ならば他社より難しいことをやらないかぎり差別化は図れない。

刻印屋の工具

三井切削は社名が示すとおり刻印屋（金属のハンコ屋）である。では、なぜ刻印屋が工具の販売をしているのか？ その答えは、当社が彫刻業出身の微細加工専門業者だということである。彫刻には金型加工と異なる点がある。それは製品へのみかき工程が存在しない。なぜならば、彫刻はみかきができないほどに微細な形状だからである。そのため、彫刻機での切削加工のみで仕上げなければならない。このことは、後述するバリレスにも大きく関係する。当社が工具の販売を始めたきっかけは、「おたくの社内加工用の工具を売ってくれませんか？」と展示会などで声をかけられたからである。

これから紹介する当社の微細・小径エンドミルは、

彫刻業や刻印製造で培った経験を活かした独特の形状のものばかりである。一般的なエンドミルとは性質が大幅に異なる小径・微細工具である。

微細 PCD エンドミル誕生の経緯

2007 年から開発を始めた小径・微細 PCD（焼結ダイヤモンド）エンドミルの紹介をする。ダイヤモンド工具と一口に言っても、単結晶ダイヤモンドや電着ダイヤモンドなど、素材も形状も用途もさまざまなものが存在する。

今回、当社で開発および製造・販売する PCD エンドミルは、単結晶でもなければ電着でもない。PCD を工具母材に使用している。当社で初めて PCD を研磨したのは、実は 1999 年頃の話である。その当時は、工具としての形状に研磨できなかつた。いま考えてみれば、設備も社内用の微細超硬刃具をつくる程度のものであつた。しかし、翌年の 2000 年から小径 cBN エンドミルの開発を開始。その後、展示会などでの反響を受け、事業として本格的に小径 cBN エンドミルをおよび微細超硬エンドミルの製造・販売を開始した。そして現在では、小径 PCD エンドミル（図 1）と新開発（特許出願中）の小径 PCD マイクロツール（図 2）の製造・販売も開始した。

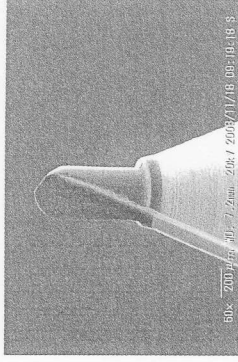


図 1 PCD エンドミル

PCD 工具による加工事例 1

小径 PCD エンドミルでの加工事例を紹介する。当社のマシニング担当が実際に依頼があつて行つた加工事例である。使用工具は、片角 10°/先端径 φ0.03 の PCD 微細工具で、62 HRC の鋼材への文字彫り加工である。ここで気になるのは、この加工が「ダイヤモンド工具は脆性材への加工が一般的で、鉄を加工するのはタブーでは？」と考えるのが一般的である。ではなぜ、そんなタブーに敗て挑戦したのか。理由はいろいろとある。まず自社製超硬工具での加工を試みたが、工具摩耗が激しくすぐに工具は折損。次に、自社製 cBN 工具で再度試みたが、結果は超硬工具と同様にすぐに折損。そこで試したのが自社製 PCD 工具である。前述のように通常世間では、ダイヤモンドは鉄への加工はできないとされている。しかし、当社の信念でもある「聞いた話は実際に行う。できないことも実際に加工して確認。できることもやってみる」に則つて加工をした。できないことを考えているだけではなんにも始まらない。実行してみれば結果は出る。単純なことである。結果は、超硬工具や cBN 工具では不可能だったものが加工できた。ダイヤモンドで鉄に加工できた理由を理化学研究所の某博士に聞いた。『ダイヤモンドが鉄に加工できないのは拡散摩耗を引き起こすからで、加工時に拡散摩耗を起こさない温度に抑えることができれば理論的には可能』との答えをいただいた。

ここまで書けばおわかりだろうが、今回 PCD 工具で鉄を加工できた理由は、「極小径の工具を使用 → 周速が上がらない → 加工時に温度が上がらない → したがって拡散摩耗を起こさない（起こしにくい） → 鉄に加工できた」といったところだろうか。し

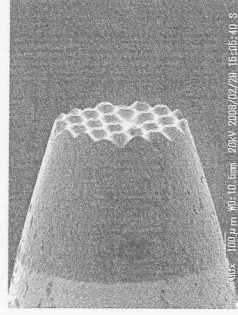


図 2 PCD マイクロツール

かし、現時点でわかつていることもある。いくら拡散摩耗が起きにくいといっても鋼材の種類によっては相性があるようで、具体的に言うと炭素を多く含む鋼材だと加工がしやすいようである。逆に炭素の少ない鋼材の場合は、加工ができないうという結果も出ている。喜んでばかりはいられない。

次世代 PCD マイクロツールへの期待

読者の皆さんはお気づきであらうか？ 現在の微細加工や難加工において、切削加工と研削加工の棲み分けが困難になりつつある。微細切削加工が内容としては研削加工の領域に侵入しつつある。そして、この領域に対して適切な表現や言葉が定義されていないのも事実である。なぜ、こんな問いかけをしたか？ 2008 年に開発した当社の PCD マイクロツールは、この領域で使われる工具だからである。この PCD マイクロツールは、電着ダイヤモンド工具に似ている部分がある。しかし、大幅に異なる部分もある。

電着ダイヤモンド工具の場合は、台金に制御しながらダイヤモンド微粒を均一に密着させることは極めて困難と考える。そのうえ、微粒の大きさと台金の直径の組み合わせで工具の径が決まる。したがって、小径や微細になると、工具径や微粒のサイズに制限が生まれる。

そのほかにも微粒の密着のばらつきのため、工具径を使用前に正確に計測するのも困難である。微粒の層が剥がれたら、台金がむき出しになり切削できなくなる。その点、当社の新開発 PCD マイクロツールは違う。PCD マイクロツールの素材は、ダイヤモンド焼結体であるため、たとえダイヤモンドが剥がれても次のダイヤモンドが出てくる。そして、焼結体をベースに工具を成形しているため、微粒の凹凸が少なく、工具径を使用

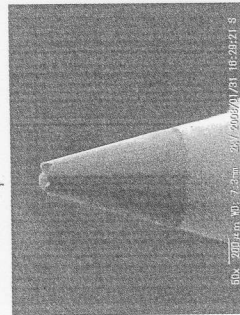


図3 PCD マイクロツール

前に計測することが可能である。以上のような特徴を持つている。ただし、電着工具ほど安価に製作することは不可能だが。

切れ味無視

これは後述しているが、当社の工具は基本的には切れ味優先が最大の特徴である。しかし、この新開発のPCD マイクロツールに関しては性質や形状が対極にある。その理由をお答えしよう。超硬材への切削加工を行うとわかるのだが基本的にはバリが発生しない。

この事実を踏まえ、加工物にバリが出ないのならば最初から工具の形状を剛性確保に重点を置き、バリに関しては許される範囲で軽視した。そこでできた形状が切れ刃のない形状である。この工具形状は、切削工具というより治具研削砥石に似ているのではないだろうか。

PCD 工具による加工事例 2

小径 PCD マイクロツールでの加工事例を紹介する。今回はテスト切削での加工事例である。使用工具は、片角 14°/先端径 $\phi 0.25$ の PCD マイクロツール (図 3) で超硬材への形状加工 (図 4) である。なお、工具底刃の形状は、シンブルな十字溝形状で加工に使用

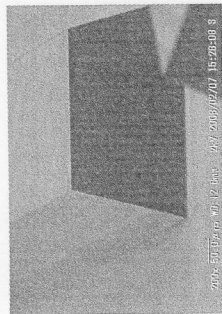


図5 加工ワーク

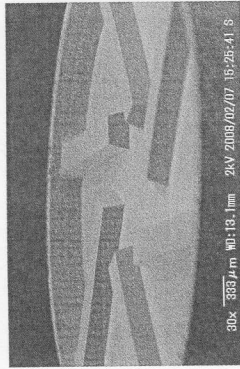


図4 加工ワーク

した工具はこの工具 1 本のみである。

加工ワークのサイズは、 $\phi 6$ (市販品超硬エンドミルのシャング切断面を使用) である。加工深さは 0.33 mm。加工機は、当社所有の牧野フライス製作所製 HY-PER 5J。加工条件は、Z ピッチ 0.001 mm、送り速度 F 40、オフセットピッチ 0.08 mm、主軸回転数 32,000 min^{-1} である。この加工事例は見本品の切削のため、加工時間の短縮は考慮せずに切削面をピカピカにすることを最優先で行った。加工形状のシャープエッジ (図 5) にもご注目。実加工時間は 34 時間 38 分。使用工具はこれ 1 本のみのため、工具全長の摩耗を計測したところ 0.012 mm ほど摩耗 (図 6) していた。現在では、加工時間を 11 時間まで短縮したが、これほどのピカピカの面にはたどり着いていない。やはり、奥が深いのである。

微細 cBN エンドミル誕生の経緯

当社では、彫刻業の時代から社内で行っていた (半月カッター) をつくり、使っていた。そのノウハウを活かすことができたのが、2000 年から開発を始めた微細 cBN エンドミルである。そもそも cBN の存在を当社はまったく知らなかったが、理化学研究所の某博士か

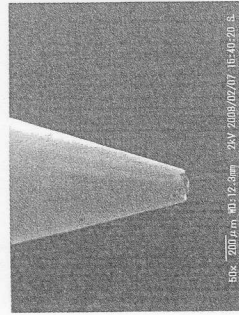


図6 加工後

ら「これで微細工具をつくってみれば」といわれて渡された cBN の小さなチップ約 100 本がこの工具の原点になる。開発当初は、工具素材である cBN 素材の選定や研磨機の砥石の選定がうまくいかず製作が困難だったが、工具研磨機の改良や砥石の選定などで安定した製品が製作できるまでになった。

2001 年、当時のキヤノン阿見事業所での導入をきっかけに徐々に販売実績も伸びた。02 年からは、数種類あるブラנקと当社の設備をフルに活かしてさまざまな特殊形状の工具も製作している。

なぜ、鋭角な薄刃にこだわるか

一般的なエンドミルの形状は鈍角なので鈍 (なた)。当社の彫刻刃の形状は鋭角なので剃刀 (かみそり)。刃先の形状をわかりやすく表現するとこんな感じだろうか。工具の刃先の角度は鈍角な場合は、刃先の剛性は増すが切れ味は劣る。逆に鋭角な場合は刃先の剛性は劣るが、切れ味は上がる。昔は彫刻機と鋭角な彫刻刃の組み合わせで微細加工を行った。昨今のマシニングセンタは、急速に性能が上がっている。旧来の加工機では使えなかった鋭角なカミソリ工具も高性能な高速回転主軸のマシニングセンタのおかげで使用できるようになりつつある。補足になるが、当社では微細工具の場合は工具の刃先に処理を施すこと (ショットピーニングなど) は不要と考える。実際に、「微細工具は刃先が初期摩耗した時点で使いものにならない」という報告もユーザーから受けている。過去の加工機と現代の加工機の性能差を無視して、微細工具本来の特徴を引き出さないことはナンセンスだと思う。

バリレス超硬工具

上述のとおり、当社の工具は基本的には切れ味重視の鋭角・薄刃の形状 (図 7) である。特に超硬エンドミルに関してはバリレスに主眼をおいて設計されている。ただし、超硬バリレス工具に関しては正直なところ開発らしい開発は行っていない。なぜかといえば、彫刻用の工具がこの形状だからである。単純に彫刻業の経験がそのまま反映された工具がこの工具なのである。一般的な超硬エンドミルのような使い方は異なるが、仕上げ工具として使用していただければ鋭利な刃形状の切れ味を活かした切削が可能になる。バリ回避のお役に立てると幸いである。

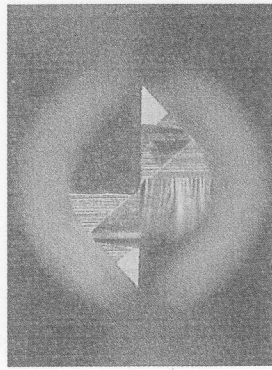


図7 バリレス

二律背反

当社の工具は、加工条件がピンポイントのものが多く、このことは、考え方によってはメリットでもありデメリットでもある。鋭角なカミソリ工具でしかできない加工もある。逆にカミソリ形状では無理 (正確には不向き) なこともある。「最適な加工条件」を聞かれることもある。当社の回答は「加工条件はあくまで推奨値」である。最適条件は、おのおの加工所によって異なると当社では考える。厳密に言えば同じマシニングや CAM を使ってもでき上がる製品は同じとは限らない。切れる工具は摩耗する。頑丈な工具は切れが悪い。ごく当たり前のことではないだろうか。

できないことは必ず確認しろ

「できないことは必ず確認しろ」、これは当社の会長の口癖である。できないといわれていることも実際やってみるとできてしまう場合がある。例えば、ダイヤ工具で鉄を切削する。一般的には不可能といわれている。当社では超硬への直彫りをターゲットに PCD エンドミルの開発をスタートした。前述のとおり、PCD エンドミルを使用して鉄系の材料を切削した例もある。ほかにも cBN エンドミルを使用してエンブラへの加工 (この事実もユーザーからの報告で判明した) など、駄目元で行うと意外により結果も生まれるものだ。

真のユーザーニーズとは

エンドミルは、微細・小径になればなるほど取り扱いがシビアになる。ただし、加工形状に合わせて工具を設計すれば回避できる場合もある。例えば有効長の場合、極端な話をすれば加工深さに対して 1 μm でも

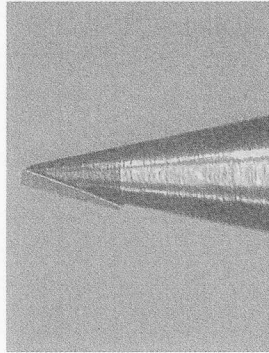


図8 テーパー工具

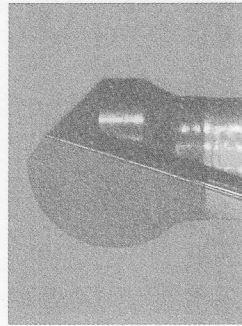


図10 球形ボール工具

工具の方が長ければ加工は可能である。1μm というのは非現実的だが、加工深さに対して長すぎる有効長の工具は微細になればなるほどに刃先の剛性以前に工具自体の剛性すら確保できない。工具自体の剛性が確保できなければ、工具を使うことはおろか、つくることがままならない。そのほかにも、加工時に干渉しないのであればストレートではなくテーパー工具を使う、垂直壁の切削で垂直度が要求される場合はマインドユーザー工具を使う、など実際の加工現場（エンドユーザー）の要求が高ければ高いほど気づかせられることばかりだ。

オーダーメイド品

標準品以外は、特注品？ 一般的にはそうかもしれないが、当社は違う。テーパーエンドミル（図8）でも、中途半端な数値の設定（先端径φ0.85とか、有効長1.25Lとか）でも、納期も価格も最小ロットも変動しない。逆テーパー（図9）や球形ボール（図10）やTスロッター、角錐や角柱、円錐やボンチ、などなどどんな形状の工具でも、当社のプラントと設備で対応可能な場合は製作する。前述したように、微細・小径・複雑形状になればなるほど工具を製作するのが困

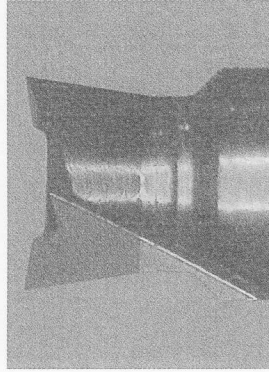


図9 逆テーパー工具

難だが、加工形状さえわかれば困難を回避（軽減）することも可能になる。

買えないものはないのと同じ

エンドミルは、加工のための道具である。微細・小径工具は特殊なものとはいえ、「値段が高すぎる」、「納期が長すぎる」場合は存在しないものと同じと当社では考える。工具自体の性能もさることながら、ユーザーの立場を考え、小ロット・多品種・短納期・低価格も念頭に入れ開発や製造を行う。使える価格、使える納期でないものは道具（工具）とはいえない。

残された課題

本稿に述べた課題に関して、工具メーカーはもちろんのこと、関連する企業の協力も必要不可欠だと当社は考える。

①微細・小径工具や特殊形状の工具に対する安定した工具長測定方法、②それに伴う工具交換時の段差（継ぎ目）をどのように減らすか、③加工時の工具の振れ精度、④加工ワークと工具材質と切削油との相性、⑤最適な加工条件の選定（切込み量や送り速度）など、である。

☆

これからの微細加工は工具、マシニング、CAMのカタログスペックだけではなく、それぞれの癖や特徴なども勘案しながら行うこと、差別化を行うのであればリスクを恐れないこと、従来の加工法などに縛られず、自由な発想や、時には無謀とも思える挑戦も必要になるのかもしれない。なお、本稿の内容に疑問のある方はお気軽にご連絡いただきたい。担当者から詳しくご説明させていただきます。