

超精密マイクロ切削加工



竹内 芳美*

Ultraprecision micro mechanical machining

Key Words : Ultraprecision, Micromachining, Milling, 5-axis control, 3D-CAD/CAM

1. 機械加工とナノテクノロジー

ナノテクノロジーという言葉聞く機会が多いが、話題はどうも半導体の加工によるものや、放射光によるリソグラフィを利用したLIGAプロセスによる微細加工などに集中していて、優れた特性をもつ伝統的な機械加工による加工技術が忘れがちなのは残念なことである。図1にマイクロ加工、あるいはマイクロマシニングに使われる加工技術の一覧を示す。

Silicon micromachining (半導体製造技術)
 Wet etching, Dry etching, Electrochemical etching
 Micro-plating (Electro-forming) (電着)
 LIGA (Lithograph Galvanformung Abformung)
 Micro-electrochemical machining
 Excimer laser micromachining (エキシマレーザー加工)
 Electron-beam machining (電子ビーム加工)
 Micro-moulding of polymers (マイクロ成形)
 Mechanical micromachining (機械加工)
 Turning, Milling, Drilling, Grinding, EDM,
 W-EDM, Polishing

図1 マイクロ加工技術

最近では携帯電話にも2百万画素のデジカメが組み込まれ、低価格で販売されているようになってきているが、このカメラのレンズには数ミリメートルの直

径の非球面レンズが用いられている。もちろん、高級なものから低価格のものまで、またCDやDVDなどのピックアップレンズにも採用され、従来の組合せレンズの枚数を減らし、コスト低減を実現する大きな要因にもなっている。

非球面のプラスチックレンズやガラスレンズを大量に作るには、微細でしかも超精密な加工技術による金型の製作が不可欠である。この金型の製作には超精密マイクロ機械加工技術が大きな役を果たしている。

ここでは超精密切削加工について説明するとともに我々が試みてきた超精密マイクロ加工の現状を紹介する。

2. 超精密加工の歴史

寸法精度、形状精度、表面粗さをできるだけ正確に反映した加工物を作り出すための超精密加工技術は1970年代にアメリカから始まった。工具を所定の速度で送りながら指定した位置に正しく位置決めすることが基本動作となっている。工具にはダイヤモンドが使われることが多く、正確に作られたダイヤモンド工具の形状を、加工物の表面に転写することで寸法精度・形状精度・表面粗さの優れた部品を得ようというものである。この技術はハードディスクやビデオの読み書き用ヘッド、あるいはスキャナーのポリゴンミラーなど身近なところで使われている。

これらの部品の加工には、高精度の位置決め精度と送り速度をだせる超精密加工機が使われるが、当初は2軸制御の旋盤として製作され、その利用も軸対称部品に限定された。一方、複雑な形状の超精密部品の加工には回転工具を使うフライス系の超精密加工機が適している。そのため、最近では超精密フライス機や超精密マシニングセンタが開発され、市販されて始めている。国外の例として、ドイツのアー



* Yoshimi TAKEUCHI
 1948年8月生
 1976年東京大学・大学院工学系研究科・精密機械工学専攻・博士課程修了
 現在、大阪大学・大学院工学研究科・電子制御機械工学専攻、教授、工学博士、生産加工システム
 TEL 06-6879-7339
 FAX 06-6879-7247
 E-Mail takeuchi@mech.eng.osaka-u.ac.jp

ヘンにあるフラウンホーファー研究所では、UPMというマイクロ加工用3軸制御フライス盤を開発している。この機械は空気軸受けとレーザ干渉計を備え、花崗岩の定盤の上にセットされ、さらに空気ダンパーで支持されるという構造である。アメリカのNPLでは高剛性の四面体構造の加工機が開発され、ドイツのクーグラ社はフラウンホーファー研究所と共同で、空気と油静圧軸受けをもつ5軸制御フライス盤を開発している。

最近では、超精密加工機の送りにはリニアモータを利用するものも増えている。超精密フライス加工機のパフォーマンスは次のようである。

位置決め精度 1nm

表面粗さ(Ra) < 10nm

形状精度 < 0.1 μ m/100mm

主軸の軸方向、径方向の振れ < 0.1 μ m

超精密加工には単結晶ダイヤモンドが、その低摩擦係数と優れた熱伝導性、高硬度、原子レベルでの鋭利性のために用いられている。ダイヤモンド切削の材料としてはアルミや銅、真鍮、ニッケル銀、銅ニッケル亜鉛合金が使われる。スチールは、炭素からなるダイヤモンドと鉄の親和性が原因で、工具磨耗を引き起こすために適していない。しかし、スチールやその合金は加工材料として従来から多用されているので、どうかして実際に使えるようにしようと研究が進められている。

3. 研究のきっかけ

最近ではナノ・マイクロ加工に関心が高いが、機械加工からのアプローチに関してはマスコミに取り上げられることも少なく、その広範な有用性・実用性にもかかわらず大きなプロジェクトとして推進されることを聞かないのは残念である。

筆者は17年ほど前に、必要な精密機能要素を組み合わせる超精密旋削加工(旋盤を使った切削加工)の研究を始めた。当時は超精密旋盤が市販されており、10nmの位置決め精度を活用してポリゴンミラーやプリンタの感光ドラムの加工などに使われた。ちょうどモノクロのレーザプリンタが一般になってきたことと時期が一致する。ただ、研究という観点から見ると超精密旋削加工は実用化の時期に入り、インパクトを与えるような研究内容を打ち出せずに3年間過ぎたことを覚えている。

ところで、旋盤では加工できる形状が回転対称形状に限られている。これからは自由曲面など複雑形状の加工が必ず必要になると考え、14年ほど前から超精密フライス加工の研究を始めた。自由曲面とは解析曲面ではなくてパラメータで表される曲面であり、そのような形状の切削加工には通常はボールエンドミルという工具を使用する。しかし、ダイヤモンドのボールエンドミルは今でも市販されていない。そこで、まず、ダイヤモンド工具を作成することから研究を始めた。旋削加工で使用するRバイトは市販されており、これを回転させ、ボールエンドミルの代用ができるかどうかのチェックから始め、その後、工夫を凝らして擬似ボールエンドミルというものにたどり着いた。この工具のお陰で自由曲面を超精密に仕上げることができるようになった。

その後は、工具の改良を行うとともに加工法にも工夫を重ね、超精密で微細な形状まで加工できるようになった。この頃、超精密マイクロ加工の分野に機械加工も寄与できることが少しずつ理解はされてきているものの、すでに10数年もかかっており、実用になるまでには時間のかかることを実感しているところである。

4. 最近の成果と今後

この3月までに可能になった超精密マイクロ加工の結果を示す。図2は大きさ1mmの弥勒菩薩の頭部である。材料は金で、擬似ボールエンドミルを使って素材から直接切削加工を行い、この複雑な形状を得ている。加工時間は37時間ほどかかっている。ダイヤモンド工具の制御は、1nmの位置決め精度をもつ5軸制御の超精密マシニングセンタを使用して行っ

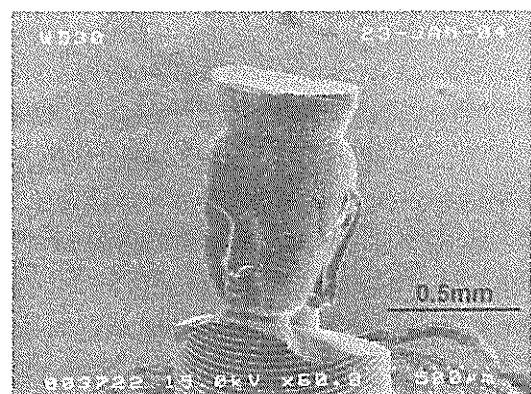


図2 加工されたマイクロ弥勒菩薩

ている¹⁾。このような形状は通常のX, Y, Zの3軸の運動では加工ができない。そのため、工具姿勢を制御できる回転運動も加え、同時に位置と姿勢をコントロールしながら加工を行う。弥勒菩薩の形状は、実物大のモデルを製作し、それを非接触の3次元計測機を使用して位置データを取り込み、3次元化してCADデータを構成する。このデータを基に、同時5軸制御で工具を移動させながら加工した。

このような複雑形状が加工可能ならば、これからマイクロロボットやマイクロメカニズムの開発に必ず必要となる金属部品の加工に大きな力を発揮する

と思われる。ただ、加工に時間を要するのも事実である。多数の形状を得るには時間がかかりすぎて実用には供さない。そこで、複製技術、すなわち金型化が避けられない。これからは超精密マイクロ部品を効率よく生産するための金型化技術の開発が強く求められるようになると思われる。今後はその方面への取組みに力を注ぎたいと考えている。

参 考 文 献

- 1) 澤田 潔, 竹内芳美: 超精密マシニングセンタとマイクロ加工, 日刊工業新聞社(1998)

この記事をお読みにになり、著者の研究室の訪問見学をご希望の方は、当協会事務局へご連絡ください。事務局で著者と日程を調整して、おしらせいたします。

申し込み期限: 本誌発行から2か月後の月末日

申し込み先: 生産技術振興協会 tel 06-6395-4895 E-mail seisan@maple.ocn.ne.jp

必 要 事 項: お名前, ご所属, 希望日時(選択の幅をもたせてください), 複数人の場合は
それぞれのお名前, ご所属, 代表者の連絡先

著者の都合でご希望に沿えない場合もありますので、予めご了承ください。