

超精密加工の基礎と近年注目される超精密切削の研究

金枝 敏明・西岡 崇徳*

岡山理科大学工学部機械システム工学科

* 岡山理科大学大学院工学研究科機械システム工学専攻

(2006年10月2日受付、2006年11月6日受理)

1. はじめに

歴史的に見て加工技術が初めて脚光を浴びたのがウィルキンソンの中ぐり盤と言われており、当時蒸気機関用シリンダ内径の誤差がmm単位であったものが、1/10mm以下になったと記録されている。近年科学技術に占める加工技術の割合が一段と増しており、先導技術としてもますますその地位を高めつつある。特に超精密部品においてはその傾向が著しい。我が国が今後も科学技術で世界をリードしていくには、加工技術、とりわけ超精密加工の果たす役割は大きい。

本報告では、最初に超精密加工の基礎として一般的な事項について述べる。その後、主として超精密切削加工を取り上げ、最近話題になっている研究について言及する。

2. 超精密加工の基礎

日本人は器用で細かい作業が得意と、一般によく言われている。例えば、欧米、特に英国や米国の長さの基本的単位が1インチ(25.4 mm)であるのに対し、日本(我が国以外にもたくさんの国はあるが)は1cmと言った具合で、サイズに対する感覚の違いを如実に表現しているとも言われている。欧米では、シャープペンシルは売ってはいるが、通常使っている人は中々見受けられない。これは筆者独自の見方かもしれないが、シャープペンシルの芯が詰まった時に、針に穴を通すことがごとの芯を取り出す作業が欧米人にとってはやりにくいことに起因していると理解している。日本人は取り敢えずモノを小さくすることが得意で、その例はウォークマン等の機器に代表される。超精密加工は、日本人向きの加工技術であることは間違いない。また、20世紀の最後に、当時、日米のトップであるクリントン大統領と森喜朗首相がいずれも21世紀をリードする三大技術としてナノテクノロジーをあげており、その中でも超精密加工は大きな位置を占める。

では、超精密とはいかなる領域か、これは大きさに関わらず相対的な精度が図1[1]に示すように 10^{-6} 程度ということになる。したがって小さいモノの精度ではnmの単位となるが、大きなモノではcm単位になってもよい。例えば、20kmの長さがあるような瀬戸大橋等の長大モノを造るのに数cmの精度は大変過酷な要求であり、それ以内の製作はまず不可能と思われる。

図2に、加工精度の到達精度限界と年代[2]を示す。

図3に、超精密加工の変遷[3]を示す。

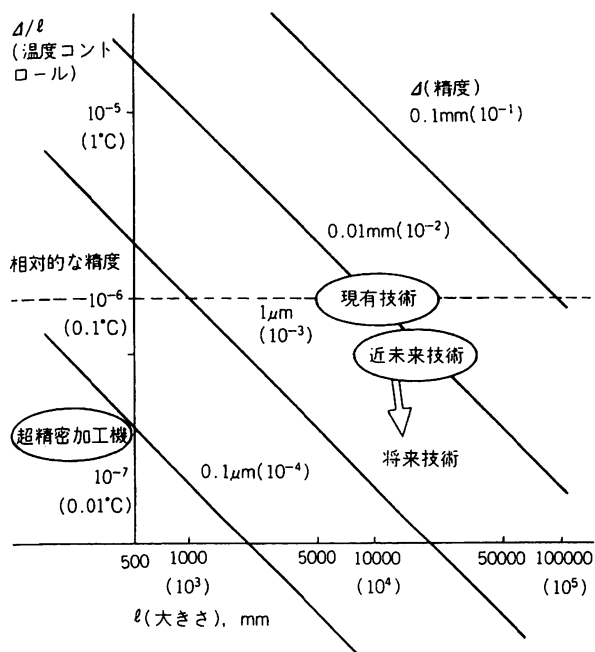


図1 超精密加工の領域 [1]

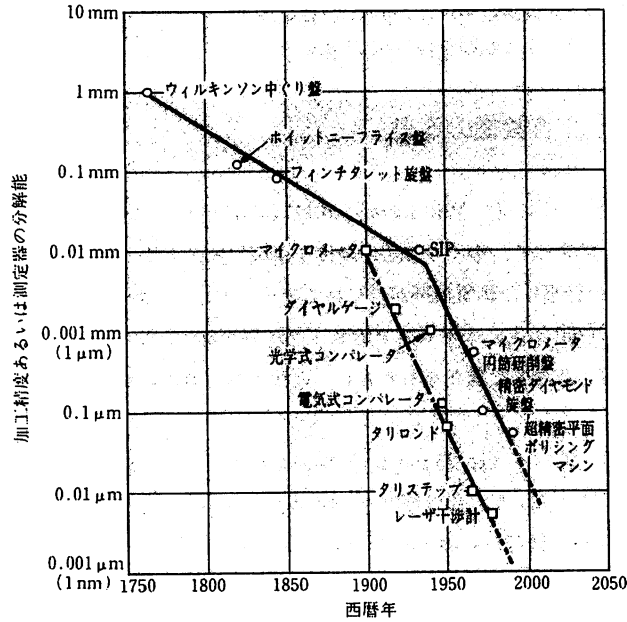
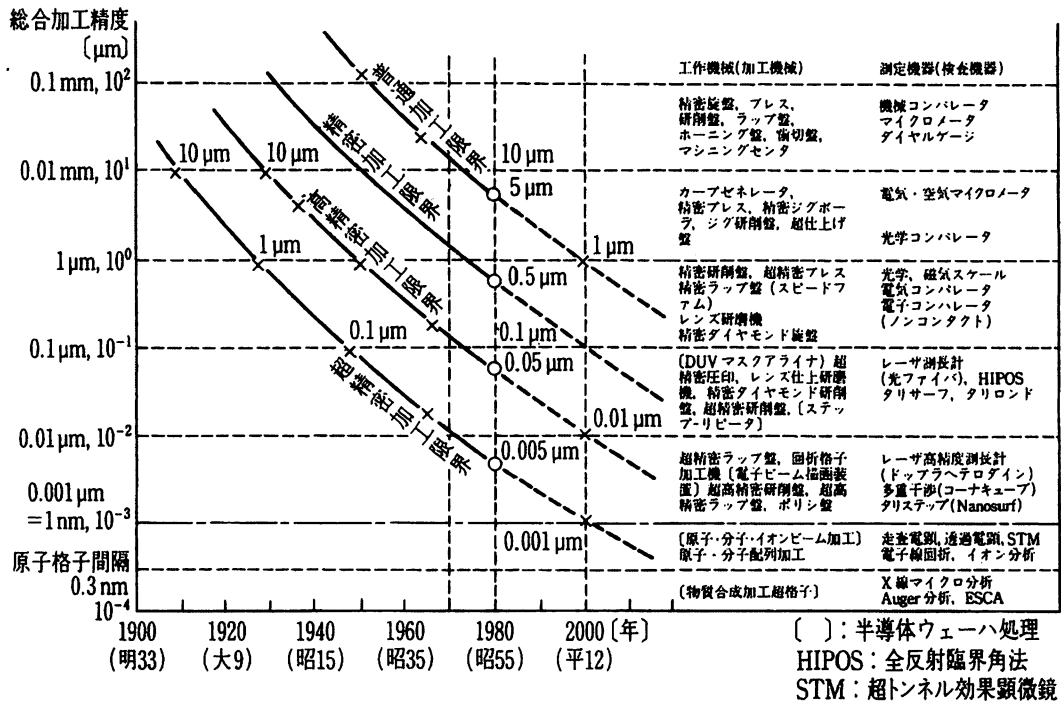


図2 到達加工精度限界と年代 [2]



総合加工精度 $p = \text{偏り誤差 } d + \text{ばらつき誤差 } \sigma$

図3 加工精度の変遷 [3]

ここで、超精密にタッチする研究者や技術者が把握しておくべき、最も基本的な単位である長さ、重量の定義を説明する。長さの定義は、古くは穀物の粒の長さや人間の一步の長さ（フィートの語源）で表され、その後子午線の4000万分の1を1mとすることから科学的になる。1889～1960年では20w × 20hのトレスカ断面を有するメートル原器、1960～1983年真空中のクリプトン86の波長を基準とし、原子の放電の長さとなり、1983年以降、

光の1秒間に進む距離の2億9979万2458分の1と規定されるようになっている。これで、時間と関連を持つ基準長さが定義されることになった。

一方、重量の定義に関しては長さほどの変遷がなく、18世紀末4℃の時の一辺0.1mの立方体の水を経て、1889年は白金ロジウムの合金からなるφ39×39hのキログラム原器となり、100年以上にわたって変化がなく現在に至っている。

国際基準が決まった場合、それが各国の基準にどれくらい正確に反映されるかが問題になってくる。この尺度がトレーサビリティである。すなわち、「標準器または測定器がより高位の標準によって、次々と校正され、国家基準につながる経路が確立されている」ことになる。したがってトレーサビリティが確保されているのが工業先進国となる。

計測に関しては、図4のアッペの原理が重要である。(a)のように被測定物とスケールを平行に置くと視差による誤差が生じ、一方(b)の場合、被測定物と物差しを一直線上に配置すると誤差はごく少なくなる。これを一般に見られる測定器に当てはめると(a)がノギス、(b)はマイクロメータということになる。

次に、熱膨張について少々記述する。図5(a)は、空調の風による温度差を、また同図(b)はブロックゲージを手で持って研磨している場合の体温に起因する熱膨張による誤差を、同図(c)は蛍光灯の照明の熱が工作物の色によって吸収が異なり、温度差が生じることを示す[4]。熱膨張は超精密加工を施す場合の最も考慮しなければならないものの一つであり、これを回避するため、多大な努力が払われている。

表1 超精密加工が必要とされる部品 [5]

超精密ラッピング・ポリッシング		超精密ダイヤモンド切削		超精密研削
非金属材料	金属材料	非金属材料	金属材料	
宝 石	ブロックゲージ	赤外線用部品	レーザ用反射鏡	転がり軸受
ダイヤモンド	金属定盤	Infrared Imaging System	Laser Fusion	圧延ロール
レンズ、プリズム	ストレートエッジ	Forward Looking Infra Red (FLIR)	感光ドラム	ロータリコンプレッサ
オプティカルフラット	工作機械スライド面	プラスチック部品	VTR シリンド	キャプスタン軸
水晶振動子	精密ステージ		磁気ディスク	X線光学部品
マイクローム	鋼 球		X線光学部品	
磁気ヘッド	ね じ		光ディスク	
Siウエーハ	歯 車			
サファイア基板	インジェクションノズル			
ダイヤモンド工具	サーボバルブ			
セラミックス定盤	金 型			

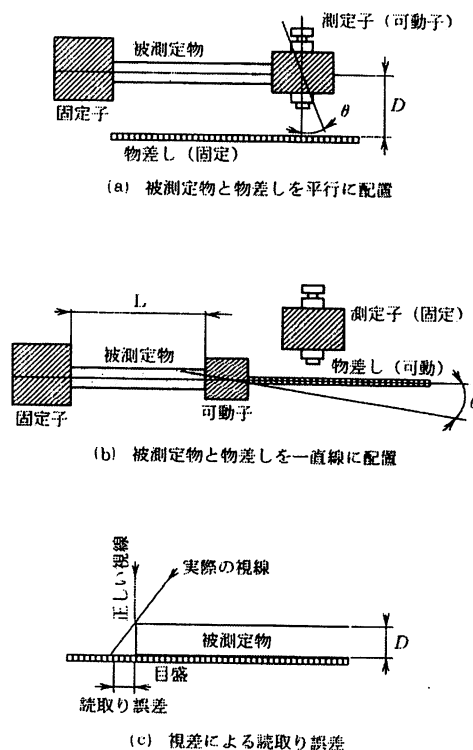


図4 アッペの原理と視差

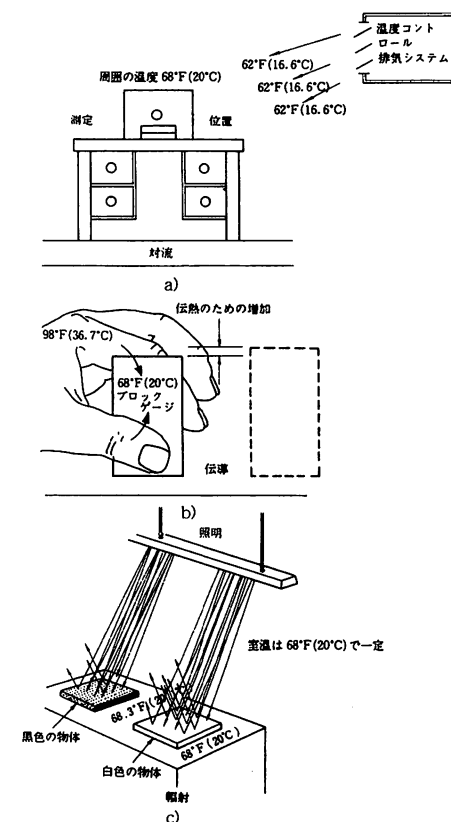


図5 微小な熱源の影響 [4]

3. 超精密加工の具体例

表1に、現在超精密加工を必要としている部品を[5]、表2にその用途を[6]、表3に先端科学・技術においてキーとなる加工技術[7]を示す。

表2 超精密加工の用途[6]

加工部品名称	超精密加工機	加工方法	被削材	部品の用途
磁気ディスク	超精密旋盤	旋削	アルミニウム合金	ハードディスク
ポリゴンミラー	超精密旋盤	フライカット	アルミニウム合金	レーザプリンタ バーコードリーダー
感光ドラム	超精密旋盤	旋削	アルミニウム合金	複写機
反射鏡	超精密球面加工機	フライカット(球面)	無酸素銅	レーザ加工機
	超精密旋盤	正面旋削(非球面)		
非球面レンズ	超精密旋盤	正面旋削	プラスチック	カメラ用レンズ
球面レンズ	超精密非球面加工機	切削, 研削	セラミック	CD用レンズ
金 型			ガラス 高硬度鋼	コンタクトレンズ 金型
磁気ヘッド	超精密平面研削盤	平面研削	光学ガラス	オーディオ フロッピーディスク 装置
	超精密平面ポリッシングマシン	フロートポリッシング	フェライト	

表3 先端科学・技術においてキーとなる加工技術の例[7]

先端科学分野	先端的機器	同 部 品	キーとなる加工技術	精 度 レ ベ ル		そ の 他	
				形状精度	面粗さ		
先端科学分野	レーザ核融合装置	集光用曲面鏡	超精密切削	1μm以下	10nm台		
	宇宙望遠鏡 (可視・紫外・X線)	放物面・双曲面鏡	超精密切削・ポリッシング 極薄多層膜技術	1μm以下	nm台	膜厚制御 nm台	
	X線顕微鏡	放物面・双曲面鏡	超精密切削・研削・ポリッシング 極薄多層膜技術	100nm台	nm台以下	膜厚制御 nm台	
	SOR装置	各種曲面鏡	超精密切削・ポリッシング・極薄多層膜技術	10nm台	nm台以下	耐損傷材料 膜厚制御 nm台	
先端技術分野	超精密ジャイロ	超精密球, 超安定フレーム	ポリッシング・無ひずみ組立て	10nm		超均質安定材料	
	エキシマレーザ装置	各種曲面鏡	超精密研削・ポリッシング	0.25μm	1nm台	耐損傷特殊材料 膜厚制御 nm台	
		軟X線多層膜曲面鏡	極薄多層膜・PVD・CVD				
	レーザプリンタ	多面鏡	超精密切削	1μm以下	10nm	1~5°分割角度精度	
	各種光学機器	各種曲面反射鏡	超精密切削	1μm以下	10nm台		
		マイクロレンズ・型	超精密切削・研削・ポリッシング 精密成形				
	電算機関連素子	超LSI	位置決め技術・低ひずみポリッシング リングラフィ技術			nm台	10nm位置合せ精度 サブμmパターン
		磁気ディスク基板	超精密切削・ポリッシング	50~100nm	数十nm		
磁気ヘッド		超精密研削・ポリッシング	100nm	10nm	無ひずみポリッシング		
ビデオ機器	磁気ヘッド	超精密切削・ポリッシング・研削		10nm	無ひずみポリッシング		
制御機器	制御バルブ	超精密研削・超精密切削	1μm	100nm			

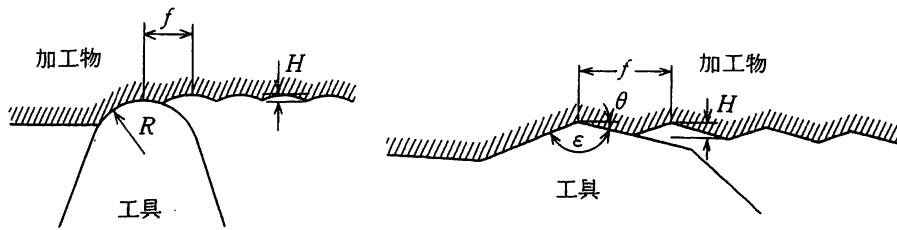


図6 工具切れ刃が理想的に転写された場合の加工面の形状

4. 切削における加工面生成機構

ここでは、切削を対象とした加工面生成機構を説明する。まず、送り方向の形状について言及する。旋削を想定すると、工具が円弧状のノーズRを有する円弧切れ刃と直線切れ刃の場合では、理想的な切削加工面の形状は、図6のようになる。前者では送りマークによる粗さは次式で表される。

(1) 円弧切れ刃の場合

$$H = R - \left(R^2 - \frac{f^2}{4} \right)^{1/2}$$

$$\approx \frac{f^2}{8R} \tag{1}$$

なお、この関係式は切込みHとノーズRによっても異なるが、ノーズRに対し、送りが小さい場合に成立する。

(2) 直線切れ刃の場合

$$H = \frac{f}{\cot \theta + \cot \theta(\pi - \epsilon - \theta)} \tag{2}$$

となり、これ以下の粗さは望めない。いずれの場合も転写性に問題がないとした場合の計算値である。ここで、転写性とは工具切れ刃の形状が切削により加工面の形状に転写される程度を表し、切削の良否を加工面の形状から評価するものである。

次に転写性を乱す因子について記す。表面の粗さを論議するには切削方向と送り方向の両方がある。前者では、工作機械、すなわち工具切れ刃先端と被削材との相対的な位置変化と構成刃先が主なものとなる。相対的位置変化については別の機会に譲り、構成刃先について言及する。構成刃先については、超精密切削では切込みも小さく、切削速度も構成刃先が消滅するとされる速度なので発生しないと一般に思われがちであるが、軟質金属を対象とする超精密切削の場合、構成刃先とまでもいかないが、刃先に滞留層が生じ、過切削になり加工面を乱すことがある [8]。

図7に刃先丸みが切削現象に及ぼす影響を示す。通常の加工レベルでは無視できたものが、切込みの微小化により考慮しなくてはならなくなり、刃先の分離作用への影響のみならず加工面の弾性回復が効いてくる場合がある。

また被削材も超精密切削ではそれに相応しい材料を選択する必要がある。通常材料を切削すると図8に示すように結晶粒毎に変形特性が異なるために、結晶粒毎で段差が生成される [9] 場合がある。対策として、熱処理を施し、微細な結晶粒にすることが行われたりする。また、純アルミ製のハードディスクでは高速回転に耐えられる強度にするために、ある種の元素を添加しているが、その析出による加工面への粗さ対策を入念にするため、新たに材料を開発している例もある [10]。

以上のような転写の乱れは、超精密切削でも場合によってはμmオーダーに達すると指摘されている

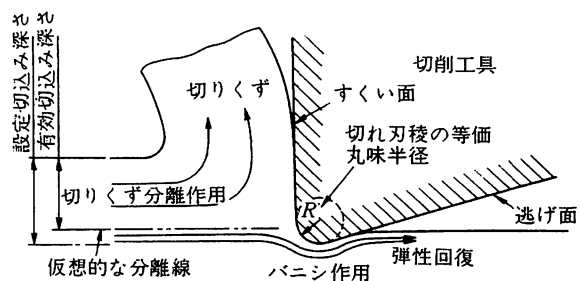


図7 工具刃先丸みの影響

[11].なお、転写性自体はアルミが銅よりも少し劣ると言われている [12].

5. 超精密切削用工具(ダイヤモンドバイト)

通常の超精密切削用工具としては、単結晶ダイヤモンド工具の独壇場と言ってよい。ダイヤでは他の工具材料と比較して極端に小さい10~15nmレベルの刃先丸み半径が得られる。超合金の場合、いくら丁寧に仕上げても構成する炭化物の粒子サイズ以下にはできなく、数 μm となる [13]。さらに、市販されている超硬では耐久性を加味し、丸みを意図的につけ、その半径は10 μm 内外となる。焼結ダイヤモンド工具でも構成する粒子のサイズで決定され、やはり数 μm となる。

ダイヤモンドは、超硬よりも硬度が遥かに高い、さらに摩擦係数が小さく、超精密切削の主な被削材である軟質金属とは親和性が低いこと等から、他の工具材料では得られない鏡面仕上げ面能力を有する。さらに熱伝導率が焼結ダイヤモンドよりも約20倍以上も高く、刃先に発生する切削熱の拡散性に優れるため摩耗の抑制ができ、切りくず溶着を防ぐこと等も可能である。

しかし、ダイヤモンド工具にも以下に示す問題がある。まず、最初に当然のことではあるがダイヤモンドが硬いゆえに脆く靱性に欠けるため、そのハンドリングには細心の注意が必要である。ダイヤモンド工具には単結晶ダイヤモンドが用いられるが、結晶の方位によって耐摩耗性が大きく異なる。図9にダイヤモンド単結晶の耐摩耗特性を示す [14]。このように(111)面と(110)面とでは100倍も摩耗量が異なる。強度も同じように面方位により大きく強度が異なる。したがって、これらのことを十分配慮して、ダイヤモンド工具は製作されている。ちなみにA社ではすくい面に(100)面を採用している。

ダイヤモンド工具は、使用直後からその高性能を発揮できなく、慣らし切削が必要である。ダイヤモンド工具は、入念に研磨仕上げされるが、研磨時に走査電子顕微鏡でも観察できないサイズのマイクロクラックが導入されたり、それが刃先に残ったりする。また丁寧に研磨されていてもその刃先には極微小な凹凸があり、あたかも鋸刃のようになっているとも言われている。そのため、図10a)に示すように、使用開始直後には良好な加工面が得られない。使用開始とともに刃先のごく僅かな摩耗が進行し、上述のマイクロクラックを消滅させるほどに摩耗が進めば、本来の鏡面仕上げ能力を発揮し、同図10b)に示すような非常に良好な加工面が得られる。すなわち、工具刃先に極微小な摩耗を生じさせるための切削、“捨て切削”を行う必要がある。この一種の慣らし切削を短縮する、もしくは不要にする試みも行われている [15] [16]。

また、現場でよく問題とされているのが、バイト自体の当たり外れである。これは、一つにはダイヤモンドに含まれる後述の欠陥と研磨時に発生したマイクロクラックの位置と分布、すなわち刃先に近いかどうか、さらに慣らし切削時に、研磨時に発生したマイクロクラックが成長し、チップングに至る場合があることが寿命をバラつかせる原因と思われる。ダイヤモンドの欠陥としては、窒素不純物が一番多く、天然ダイヤモンドでは直径8nm~数 μm の小板状の欠陥が0.1%程度存在する。それらが刃先近傍にあれば、チップングの可能性が十分あることになり、その多寡で寿命が左右される。

そこで、金枝らは窒素不純物が天然に比べほとんどない合成ダイヤモンド(タイプII a)を新たに製作し、窒素不純物の影響のないダイヤモンド工具での切削実験を実施している [17]。



図8 結晶粒界段差 [9]

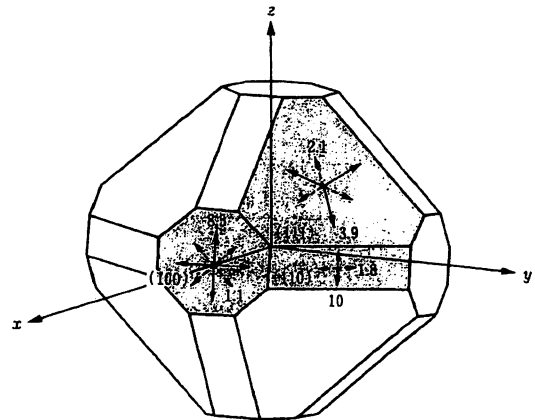


図9 結晶面による耐摩耗性の差異 [14]

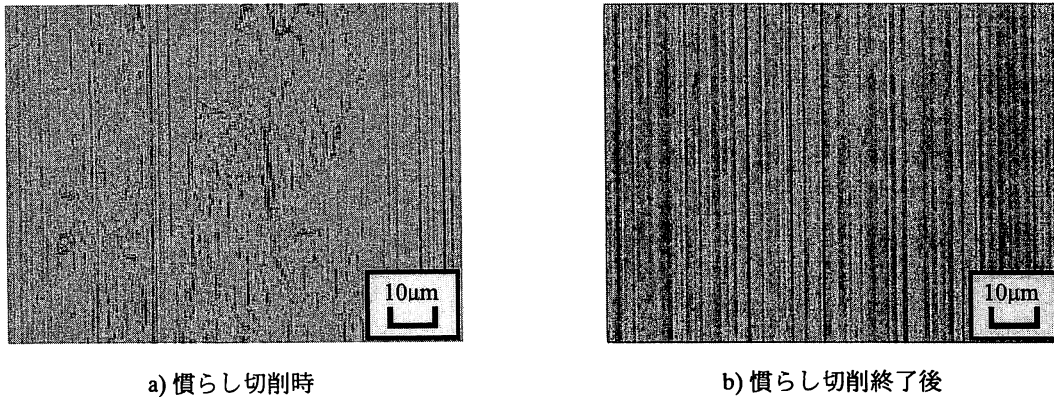


図 10 慣らし切削と慣らし終了後の切削加工面 [17]

ダイヤモンド工具の摩耗については、その特性が被削材ごとで異なる結果が出ている。アルミ合金を切削した場合、アルミが切削中の高温で酸化して酸化アルミニウム（アルミナ）になり、これが逃げ面を擦り、逃げ面のアプレシブ摩耗が顕著となる。一方、銅の場合は、切削時に高温になった被削材の銅が空気と酸化して酸化銅になる。この酸化銅がダイヤモンドの炭素と還元反応を起こし、その際炭素が持ち去られるというプロセスがある。この酸化還元反応で摩耗する [18]。したがってすくい面でのクレータ摩耗や境界摩耗が特徴的となる。

一般的に鉄系金属に対してダイヤモンド切削を行わないのは、鉄とダイヤモンドの成分である炭素との親和性が高く、過酷な摩耗となるためである。これは、ダイヤモンドの表面がグラファイト化し、炭素原子が鉄中に拡散することに起因する。

6. 加工面の評価法および特性

加工面の幾何学的評価には、触針式粗さ計がその信頼性の高さゆえ、もっともよく使用される。しかし、触針の刃先丸みと荷重に注意すべきである。現在市販されているメーカーのデータでは、刃先丸みが $2\mu\text{m}$ と $0.5\mu\text{m}$ の触針があり、後者が超精密用である。また、触針の頂角も異なっている。したがって測定面の断面形状を十分加味してから、そのデータを解析するべきである。さらに触針に負荷される荷重も絶対値は小さいが、刃先が鋭い分応力集中が大きく、必ず測定面に痕跡が残ることも覚悟せねばならない。二次元的な一部分、すなわち針の接触部分の情報しか入手できないので、条痕、ピットの測定等には不適切である。分解能は一般に $0.1\sim$ 数 nm と言われている。

近年、超精密加工面の測定には非接触の光学式がよく使用されている。使用するレンズ倍率や反射光量に注意して使用すれば有効であり、それらに留意すべきである。

AFM（原子間力顕微鏡）は、その測定原理からも分かるように nm レベルの測定を得意とし、条痕、ピット、盛り上がり等の観察に適していると言われている。二次元的な情報のみならず三次元的な情報も得られ、光学式よりも横分解能が高い特徴がある。厳密な測定では、表面の凹凸の絶対値を触針式粗さ計で確認したのち、原子間力顕微鏡で観察するのがよい。AFMと原理的にはほぼ同じだが、触針先端のトンネル電流を扱うのが、STM（走査トンネル顕微鏡）である。したがって電気伝導性が必要であるが、AFMの場合、試料に電気伝導性がなくても測定可能である。

超精密切削加工面の加工変質層は大変小さいと言われており、 $1\mu\text{m}$ 以下とするデータもある [19]。金枝らは切削加工面の加工変質層の詳細を把握するために、純アルミ、アルミ合金、無酸素銅の超精密や精密切削加工面の内部構造を透過電子顕微鏡で観察した。その結果、最表層にはアモルファス層の存在が認められなかった。いずれも fcc 金属のため、転位が大幅に増殖し、セル組織がサブグレイン化しており、その径は通常の方法よりも大幅に小さい値になることがわかった [20]。また、切削条件によらず、その径はほとんど変わらない値を呈することも明らかにしている。具体的には、精密、超精密、切込み、切削速度、液体窒素浸漬法切削にもかかわらずセル径はほぼ一定の $0.1\mu\text{m}$ となった。

7. 超精密切削における 最近の注目される研究

金枝らは、リニアコライダー用無酸素銅製加速管セルを超精密仕上げする際に、切削油剤が使えないため、工具

7. 超精密切削における 最近の注目される研究

金枝らは、リニアコライダー用無酸素銅製加速管セルを超精密仕上げする際に、切削油剤が使えないため、工具寿命の大幅延長、さらに慣らし切削の省略を目的とし、島田らの提案する酸化還元反応の抑止のため、窒素雰囲気での切削実験を行った。その結果、上記の酸化還元反応が抑制され、慣らし切削距離の低減、工具寿命の大幅な延長を得た[21]。この研究は、リニアコライダー用ゆえ、切削油剤が使用できないことに立脚したものであるが、無酸素銅切削時の高価なダイヤモンド工具の摩耗を抑制し、かつ慣らし切削距離を低減できる点で評価できるものである。

従来は超精密切削は非鉄金属、特にアルミ、銅等の軟質金属切削を対象として研究され、実用化されてきた。しかし、ここに到って光学レンズ等の金型であるステンレス鋼や焼入れ鋼等の鉄系金属のダイヤモンド切削の需要が高まってきている。通常の方法ではダイヤモンド切削は不可なので、何らかの対応が必要である。

本らは、鉄系材料に対しダイヤモンド工具を使用した超精密切削を実施するために、図11に示すような楕円振動切削を試みている[22]。工具刃先に楕円振動を付加して間欠的な切削を行い、切りくず生成時に、工具が主に切りくず流出方向に運動するため、切削油剤等のすくい面摩擦低減効果をはるかに超えて摩擦力が減少し、条件によっては摩擦方向が反転して切りくずが引っぱり出される。その結果、せん断角が大幅に増加し、切りくず厚さや切削抵抗が著しく減少するものである。

坂本らはチタン合金やステンレス鋼に対して超精密切削加工を実施するために、ダイヤモンド工具を使用せず、超硬合金に特殊なコーティング、すなわちPVD法によるTiCN系コーティングをほどこし、ダイヤモンド工具より優れた加工面粗さを得ている。ちなみにその最大粗さRzは、数百nm以下となっている[23]。

その他、鉄系材料に対しダイヤモンド切削を実施するために工具液体窒素で冷却する、不活性ガスを切削点に注入する(図12)、超音波振動させる等の試みもある[24]。

8. 今後の傾向

今後、ますます超精密切削を使用する分野は広がり、それに対応してダイヤモンド自身の特性を明らかにする必要がましてくるであろう。ダイヤモンドの特性は、まだまだ不明な点も多く、解明するには工学的なアプローチでなく、物理化学的アプローチで臨まねばならないと考えられる。一方、産業界からの必要性が増加しつつあるダイヤモンドやその他の工具材料による図13に示す材料の超精密切削、特に鉄系材料に対しては、上記の試みで成功している例はあるものの、実用化にはさらなる幅広い条件下での実験によるその有効性を実証する必要があり、まだ少し時間がかかるであろう。今後研究がますます活発に行われ、その成果が期待される。

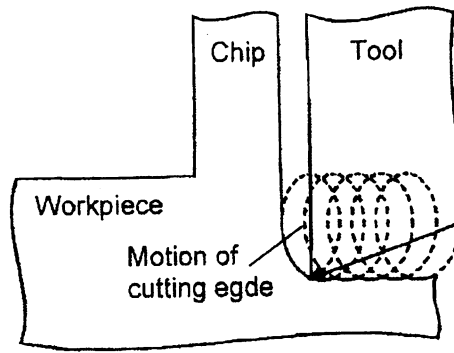


図11 楕円振動切削の概要[22]

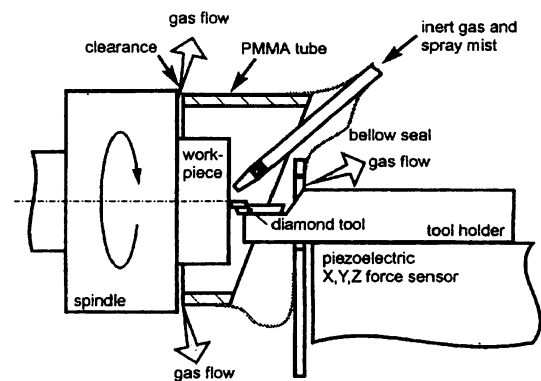


図12 不活性ガス中での切削[23]

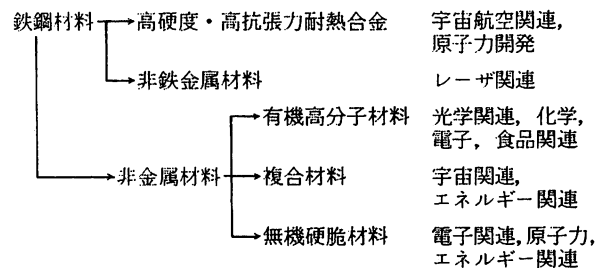


図13 今後期待される超精密切削用材料 [24]

参考文献

- 1) 例えば, 吉田喜太郎, 超精密加工マニュアル, 大河出版(1989)11.
- 2) 谷口紀男, ナノテクノロジーの構築とその理念, 精密工学会誌, 56, 3(1990)427.
- 3) 丸井悦男, 超精密加工学, コロナ(1997)2.
- 4) ウェイン アール ムーア, 超精密機械の基礎, 国際工機株式会社(1970)119.
- 5) 小林 昭, 超精密技術生産大系 第1巻 基本技術, 株式会社フジテクノシステム(1995)12.
- 6) 3)の7.
- 7) 5)の31.
- 8) 金枝敏明 他, 軟質金属切削における塗布効果(第2報)-切込みならびに切削速度の影響と塗布効果機構, 精密工学会誌, 56, 1(2000)78.
- 9) 難波義治, 超精密加工マニュアル, 大河出版(1989)18
- 10) 昭和アルミニウムのカタログ
- 11) 井川直哉, 5)のp34.
- 12) 井川直哉, 超精密加工, 大河出版(1984)125.
- 13) 金枝敏明, 刃先における切削の分離作用に関する研究, 大阪大学学位論文(1981)14.
- 14) 西村一仁, オプトメカトロニクス時代の超精密切削技術-工具形状及び切れ刃加工, 光技術コンタクト, 27, 5(1989)293.
- 15) 吉永実樹, 小島一志, 単結晶ダイヤモンド工具によるアルミホイールの鏡面切削加工, 機械と工具, 7(2004), 21.
- 16) 高橋洋一, OPC用感光ドラムサブストレート切削用ダイヤモンドミラクルバイト, 機械と工具, 7(2004), 27.
- 17) 金枝敏明 他, 無酸素銅精密切削におけるダイヤモンド工具の摩耗特性-雰囲気ならびに工具材種の寿命に及ぼす影響, 2006年度精密工学会春期学術講演会講演論文集, C62.
- 18) Shimada, S. et al, Mechanism of Cutting Edge Chipping and Its Suppression in Diamond Turning of Copper, Proc. of ASPE Annual Meeting(2004)650.
- 19) Ueda, K. et al, Machining Mirror-Like Surface, Toshiba Review(1981)132.
- 20) Kaneeda, T. et al, Transmission Electron Microscopy of Oxygen-Free Copper Machined Surface, Proc. of 2nd Int.Conference of euspen, vol.2 (2001)688.
- 21) 樋口誠宏 他, 無酸素銅のダイヤモンド切削における工具損耗の監視(第2報)-AEによるチップング検出と工具寿命診断, 精密工学会誌, 71, 9(2005)1191.
- 22) 社本英二 他, 楕円振動切削加工法(第4報)-工具振動制御システムの開発と超精密切削への適用, 精密工学会誌, 67, 11(2001)1871.
- 23) 坂本重彦 他, チタン合金の超精密切削仕上げ面粗さに及ぼす切削油剤供給効果, 精密工学会誌, 69, 3(2003)406.
- 24) Brinksmeier, E. et al. Single Point Turning of Steel, Proc. of 1st Int. Conference of euspen, vol.1(1999)446.

Basic Ideas about Ultraprecision Machinings and a Few Noticeable Ultraprecision Cutting Researches

Toshiaki KANEEDA and Takanori NISHIOKA*

*Department of Mechanical Systems Engineering,
Faculty of Engineering*

**Graduate School of Engineering
Okayama University of Science,*

1-1 Ridai-cho, Okayama 700-0005, Japan

(Received October 2, 2006; accepted November 6, 2006)

This article deals with basic ideas about ultraprecision machinings and a few noticeable ultraprecision cutting researches. The basic ideas mean accuracy limit of ultraprecision machining, history of machining accuracy limit, Abbe's law, needs for ultraprecision parts, application for ultraprecision machining, thermal effects on accuracy, and key technology for advanced science and technology. Some evaluations for ultraprecision machined surface properties, namely surface profile meters, optical methods and TEM observations, have been explained. A few noticeable ultraprecision cutting researches are reviewed such as reducing diamond tool wear using nitrogen gas injection, ultraprecision cutting with ellipsoidal vibration tools and ultraprecision cutting of titanium using PVC-coated cemented carbide tools. Ultraprecision cutting has been applying for such nonferrous metals as aluminum, copper and Ni-P alloy, however, recent trend needs for nonferrous metals or brittle materials such as stainless steels, hardened steels and ceramics. These demands have been accelerating nontraditional cutting researches as shown above.

Keywords: ultraprecision measurements; ultraprecision machining; ultraprecision cutting; Abbe's law; diamond tool; accuracy; machined surface; tool wear; ellipsoidal vibration; PVC-coated cemented carbide tool; nontraditional ultraprecision cutting.